



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Estudi dels sistemes d'informació a l'usuari sobre la disponibilitat d'estacionament en calçada

Treball realitzat per:

Maria Román Hernández

Dirigit per:

José Magín Campos Cacheda

Carlos Morillo Carbonell

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports de Barcelona

Barcelona, 20 de Juny de 2016

Departament de Transports i Territori

TREBALL FINAL DE MÀSTER

RESUM

Un dels problemes més importants que tenen els conductors diàriament quan arriben al seu destí consisteix en trobar aparcament. En moltes ciutats europees, aquesta cerca suposa gairebé el 30% del tràfic i contribueix a l’augment de les emissions contaminants envers el medi ambient. A més, aquest trànsit generat per la falta d’efectivitat a l’hora d’estacionar el vehicle suposa considerables pèrdues de temps i productivitat pels ciutadans. Així doncs, és clara la necessitat d’una intervenció en les polítiques mobilitat amb l’objectiu de regular aquest fenomen creixent.

En aquest context, la disponibilitat, l’oferta i gestió dels aparcaments en calçada, juguen un paper important en la decisió final de l’usuari envers el mode de transport utilitzat. Per tant, sembla que una estratègia en la regulació en els aparcaments en calçada pot influenciar de forma positiva una part de la mobilitat global de la ciutat.

En el present estudi, s’han analitzat les diferents solucions innovadores, envers les noves tecnologies TIC, que s’estan implementant a les grans ciutats del món i que donen resposta als impactes socials, econòmics i ambientals que deriven de l’ús del transport privat.

ABSTRACT

One of the most important problems that drivers face have every day when they arrive at their destination, is to find parking. In many European cities, this represents almost 30% of the traffic in urban areas and contributes to increased emissions to the environment. This traffic generated by the lack of effectiveness when parking, implies significant loss of time and productivity by citizens.

Therefore, it is clear the need of an intervention in mobility policies in order to regulate this growing phenomenon. In this context, the availability, supply and management of on-street parking, play an important role in the final decision of the user towards the mode of transport used. Therefore, it seems that a strategy in regulating on-street parking can influence, in a positive way, the overall mobility of the city.

In the present study, we have analyzed several innovative solutions towards the new ICT technologies being implemented in major cities in the world that respond to the social, economic and environmental impacts arising from the use of the private transport.

AGRAÏMENTS

En el moment d’acabar un treball en el que s’ha invertit molt d’esforç, mesos, hores i molta paciència, l’egocentrisme surt de dins del cos per proclamar als quatre vents la meravellosa victòria.

No obstant, fent una mirada cap endarrere es fàcil adonar-se’n de que tot aquest treball no hagués estat possible sense la participació de persones que han facilitat el final feliç d’aquest treball.

En primer lloc, donar les gràcies als tutors d’aquest treball. Al professor José Magín Campos Cacheda per acceptar dirigir l’estudi i realitzar el treball sota la seva direcció. Al tutor extern del treball i company de feina Carlos Morillo Carbonell, per donar-me suport en tot moment i aprendre cada dia del seu saber fer. També agrair l’Oscar Puigdollers Zanon per aportar una visió amplia i innovadora al treball, així com a la resta dels companys del departament d’estudis i I+D+i que sempre estan disposats a participar en qualsevol projecte.

Gràcies a la meva família per ser els principals impulsors de la meva carrera Professional. Creure en mi, i acompanyar-me al llarg de tots aquests anys en les aventures i experiències viscudes.

Als companys d’universitat, per haver format una fortalesa en la que sobreviure al llarg dels anys d’universitat i relativitzar els moments més durs. Marta, Miqui, Manu, Miriam, Aleix, Rafa i Frau gràcies per tot.

També als amics de tota la vida, per compartir les anades i tornades de la vida, els millors moments. Gràcies per mantenir la cara d’interès i admiració tot i ser la cinquantena vegada que explicava la mateixa teoria.

Y a tu, per creure que sóc capaç de realitzar tot allò que em proposi. Per la paciència i positivisme. Gràcies.

INDEX

1.	INTRODUCCIÓ	- 7 -
1.1	INTRODUCCIÓ	- 7 -
1.2	OBJECTIUS	- 8 -
1.3	METODOLOGIA.....	- 9 -
2.	ESTAT DE L'ART DELS SISTEMES D'INFORMACIÓ	- 10 -
2.1	LA MOBILITAT I L'ESTACIONAMENT	- 10 -
2.2	INTRODUCCIÓ ALS SISTEMES D'INFORMACIÓ A L'USUARI.....	- 11 -
2.3	NECESSITAT DELS SISTEMES D'INFORMACIÓ D'APARCAMENT	- 13 -
2.4	SISTEMES D'INFORMACIÓ D'OCUPACIÓ A TEMPS REAL.....	- 14 -
2.4.1	Anagog predictive system.....	- 14 -
2.4.2	Hi-Park Last Mile Parking Navigation App	- 16 -
2.4.3	Wazypark	- 17 -
2.5	SISTEMES D'INFORMACIÓ D'OCUPACIÓ PREDICTIUS	- 18 -
2.5.1	Parknav system	- 18 -
2.6	COMPARATIVA	- 19 -
3.	SISTEMA D'INFORMACIÓ A L'USUARI A BARCELONA	- 21 -
3.1	L'ESTACIONAMENT EN L'ESPAI URBÀ A BARCELONA	- 21 -
3.1.1	La ciutat de Barcelona	- 21 -
3.1.2	La mobilitat a la ciutat i el trànsit d'agitació	- 22 -
3.1.3	Gestió de l'aparcament en calçada a barcelona	- 24 -
3.2	INTRODUCCIÓ AL SISTEMA PREDICTIU A BARCELONA	- 28 -
3.2.1	Introducció.....	- 28 -
3.2.2	Definició del model predictiu	- 29 -
3.2.3	Definició del model d'Assignació Tram-Parquímetre.....	- 30 -
4.	MODEL PREDICTIU.....	- 32 -
4.1	DADES D'ENTRADA I SORTIDA DEL MODEL.....	- 32 -
4.1.1	Trams	- 32 -
4.1.2	Parquímetres.....	- 32 -
4.1.3	Assignació tram-parquímetre.....	- 33 -
4.2	METODOLOGIA DEL MODEL PREDICTIU.....	- 33 -
4.2.1	Anàlisi de dades històriques i estimació de l'ocupació pagada	- 33 -
4.2.2	Estimació de l'ocupació real	- 34 -

4.3	PLANTEJAMENT MATEMÀTIC DEL MODEL PREDICTIU	- 35 -
4.3.1	Model d’ocupació pagada.....	- 35 -
4.3.2	Model d’ocupació real.....	- 36 -
4.4	SEMAFORITZACIÓ	- 37 -
4.5	RESTRICCIONS	- 39 -
5.	MODEL TRAM-PARQUÍMETRE.....	- 41 -
5.1	INTRODUCCIÓ	- 41 -
5.1.1	Introducció.....	- 41 -
5.1.2	Definició del model	- 42 -
5.2	CARACTERITZACIÓ DEL MODEL	- 43 -
5.2.1	Hipòtesis.....	- 43 -
5.2.2	Metodologia.....	- 46 -
5.2.3	Dades d’entrada i sortida.....	- 49 -
5.3	DESCRIPCIÓ DE CRITERIS.....	- 50 -
5.3.1	Distància.....	- 50 -
5.3.2	Visibilitat	- 50 -
5.3.3	Barreres arquitectòniques.....	- 51 -
5.3.4	Tarifa de tram i parquímetre	- 52 -
5.3.5	Creuar carrer	- 52 -
5.3.6	Creuar illa	- 52 -
5.4	RESTRICCIONS	- 52 -
5.5	CONTINGÈNCIES.....	- 54 -
5.6	ALTRES APLICACIONS.....	- 55 -
5.7	CAS PRÀCTIC DEL MODEL TRAM-PARQUÍMETRE	- 58 -
5.7.1	Introducció al cas.....	- 58 -
5.7.2	Fase 1: Introducció dels Inputs	- 59 -
5.7.3	Fase 2: Aplicació de les hipòtesis de creuament	- 60 -
5.7.4	Fase 3: Assignacions.....	- 63 -
6.	PRIMERS RESULTATS: CAS PRÀCTIC DEL MODEL PREDICTIU	- 66 -
6.1	INTRODUCCIÓ AL CAS.....	- 66 -
6.2	RESULTATS DEL MODEL TRAM PARQUÍMETRE	- 68 -
6.2.1	Inputs	- 68 -
6.2.2	Outputs.....	- 69 -
6.3	RESULTATS DEL MODEL PREDICTIU D’ESTACIONAMENT- SIU	- 70 -
6.3.1	Primers resultats.....	- 70 -
6.3.2	Validació.....	- 70 -

7.	AFFECTACIONS	- 74 -
7.1	FIABILITAT DEL MODEL	- 75 -
7.2	PROMOCIÓ DEL TRANSPORT COL·LECTIU	- 77 -
7.3	RESPOSTA DE L'USUARI	- 78 -
7.4	ANÀLISIS DE RESULTATS.....	- 80 -
8.	CONCLUSIONS	- 82 -
9.	REFERÈNCIES	- 85 -
	ANNEXOS	- 88 -
1.1	RESULTATS PROVA FRANCESC MACIÀ (MODEL TRAM-PQM)	- 88 -
1.1.1	Variacions distància.....	- 88 -
1.1.2	Variacions paràmetre creuar carrer	- 90 -
1.1.3	Variacions paràmetre creuar illa	- 92 -
1.2	RESULTATS CAS PRÀCTIC.....	- 94 -
1.2.1	Model tram-parquímetre	- 94 -
1.2.2	Predicció d'ocupació.....	- 98 -
1.2.3	Resultats del treball de Camp.....	- 103 -
1.2.4	Resultats validació.....	- 106 -
1.3	RESULTATS SEMAFÒRICS	- 109 -

INDEX DE TAULES

Tabla 1: Trànsit d’agitació en ciutats al segle XX. (Font: Shoup, Donald. (2007), [14]) ..- 24 -

Taula 2: Resultat fase 1 de l’assignació tram-parquímetre..... - 56 -

Taula 3: Resultat fase 2 de l’assignació tram-parquímetre..... - 57 -

Taula 4: Inputs de trams (model tram-pqm, Francesc Macià) - 59 -

Taula 5: Inputs de parquímetres (model tram-pqm, Francesc Macià) - 59 -

Taula 6: Taula creuada amb criteri de distància (Francesc Macià)..... - 60 -

Taula 7: Taula creuada amb criteri de visibilitat (Francesc Macià) - 61 -

Taula 8: Taula creuada amb criteri de barrera arquitectònica - 61 -

Taula 9: Taula creuada amb criteri de tarifa (Francesc Macià)..... - 62 -

Taula 10: Taula creuada amb criteri de creuar carrer (Francesc Macià) - 62 -

Taula 11: Taula creuada amb criteri de creuar illa (Francesc Macià) - 63 -

Taula 12: Taula creuada amb assignacions de tram a parquímetre en % (Francesc Macià)..... - 63 -

Taula 13: Taula creuada amb assignacions de tram a parquímetre en places (Francesc Macià)..... - 64 -

Taula 14: Taula creuada amb assignacions finals (Francesc Macià) - 64 -

Taula 15: Inputs de parquímetres (cas pràctic) - 68 -

Taula 16: Inputs de trams (cas pràctic) - 69 -

Taula 17: Taula creuada amb assignacions finals (Cas pràctic)..... - 69 -

Taula 18: LLindar semafòric..... - 71 -

Taula 19: Nivells d’encert de les prediccions segons els semàfors - 72 -

Taula 20: Resultats de la validació..... - 72 -

INDEX DE FIGURES

Figura 1: Impactes negatius del trànsit en la qualitat de vida urbana (Font: Ajuntament de Barcelona).	- 11 -
Figura 5: Sistemes d’obtenció d’informació d’Anagog.	- 15 -
Figura 6: Visualització del sistema Anagog.	- 15 -
Figura 7: Funcionament del sistema de detecció de places lliures Hi-Park	- 16 -
Figura 8: Visualització del sistema Wazypark.	- 17 -
Figura 9: Visualització del sistema Park-nav.	- 19 -
Figura 2. Distribució modal de les etapes de desplaçaments a Barcelona, 2011.	- 22 -
Figura 3: Tipologia de places d’estacionament.	- 26 -
Figura 4: Distribució de l’oferta d’aparcament en calçada. (Font: Barcelona de Serveis Municipals, BSM).	- 26 -
Figura 10: Execució del sistema d’informació a l’usuari.	- 29 -
Figura 11: Interval de confiança de l’ocupació pagada per tram	- 33 -
Figura 12: Interval de confiança de l’ocupació real per tram	- 35 -
Figura 13: Semaforització: Taula de criteris.	- 38 -
Figura 14: Resultat semafòric final/ % d’ocupació.	- 40 -
Figura 15: Hipòtesi de visibilitat.	- 44 -
Figura 16: Esquema de les hipòtesis reductores de relació.	- 46 -
Figura 17: Metodologia del procés d’assignació tram parquímetre.	- 47 -
Figura 18: Procés del repartiment en tant per cent de les relacions tram-parquímetre...	- 48 -
Figura 19: Descripció del criteri de barrera arquitectònica.	- 51 -
Figura 20: Restricció del criteri barrera arquitectònica.(cas d’exemple)	- 53 -
Figura 21: Millora del criteri creuar barrera arquitectònica.	- 54 -
Figura 22: Situació geogràfica zona Francesc Macià.	- 58 -
Figura 23: Situació geogràfica zona Hospital Clinic	- 67 -
Figura 24. Situació geogràfica zona Ronda Sant Pere.	- 68 -
Figura 25: Casos d’escales semafòriques.	- 74 -
Figura 26: Fiabilitat del model segons llindars semafòrics.	- 75 -
Figura 27: Tendència de la fiabilitat de les prediccions en funció dels llindars de groc...	- 76 -
Figura 28: Tendència dels colors en les prediccions correctes en funció dels llindars de groc.	- 76 -
Figura 29: Resposta de l’usuari a la relació entre l’ocupació real i la del model	- 78 -
Figura 30: Resposta de l’usuari segons casos de llindars semafòrics.	- 80 -

Figura 31: Anàlisi de lindars semafòrics segons criteris. - 81 -

1. INTRODUCCIÓ

1.1 INTRODUCCIÓ

La disponibilitat de places lliures d'estacionament en calçada és un factor que condiciona significativament l'ús del vehicle privat i públic, així com les condicions de trànsit en les grans ciutats.

Molts estudis revelen que un nombre relativament alt dels conductor que viatgen dintre de les àrees urbanes, inverteixen una gran part del temps de viatge en cercar una plaça d'estacionament lliure al carrer [1]. Aquest efecte de vehicles circulant lentament en àrees properes al seu destí condueix a llargues cues d'automòbils que poden arribar a bloquejar carrers i provoquen un impacte significatiu en les emissions de l'automòbil [2]. Sense oblidar l'alt nivell de tensió i/o frustració que sofreix el conductor, que en molts casos pot arribar a ser la causa d'algun accident [3]

Aquest fenomen, també conegut com trànsit d'agitació representa en molt casos fins al 30% del trànsit que es troba a les grans ciutats europees.

En el cas de Barcelona, encara que el trànsit d'agitació no supera el 17.8% [4], la taxa modal del trànsit de vehicles privats envers el públic resulta ser molt més elevada del que seria desitjable des del punt de vista de la sostenibilitat. Per tant, reduir aquest factor resulta un objectiu desitjable a futur.

Els sistemes que s'han estudiat al llarg dels anys per proporcionar informació sobre l'estacionament als usuaris [5][6], es basaven en sistemes d'informació a temps real que dirigien al conductor a la plaça d'estacionament lliure més propera. En aquests sistemes, la informació, generalment, es mostra a l'usuari per panells, a través d'Internet, telèfons mòbils i tecnologies SIG.

No obstant, els elevats costos que la seva implantació comporta a nivell d'infraestructura, fan que no sigui la solució més òptima. Sense oblidar que aquests sistemes, de forma indirecta recolzen l'ús de l'automòbil envers modes de transport més sostenibles.

D'altra banda, la difusió d'informació de disponibilitat d'estacionament precisa i en el moment indicat pot donar lloc a decisions més òptimes i a reduir el temps de cerca d'estacionament [14].

En aquest context, la subministració d’informació d’aparcament de forma predictiva, és un àrea de recerca de particular interès ja que donaria suport a un canvi en la mobilitat cap a modes de transport més sostenibles com el transport públic i a la reducció dels efectes nocius que el trànsit d’agitació indueix.

1.2 OBJECTIUS

L’objectiu principal d’aquest estudi es basa en introduir i analitzar quin és el funcionament de les noves tecnologies d’informació de disponibilitat d’aparcament i estudiar com afecta la seva implementació a la mobilitat de la ciutat.

Així doncs, s’analitzarà la conveniència de cadascun dels sistemes, per més tard aplicar-ho al cas de la ciutat de Barcelona amb un model predictiu ja realitzat.

Els objectius específics es defineixen com:

- Revisió bibliogràfica sobre els diferents sistemes d’informació sobre la disponibilitat d’aparcament.
- Descripció del funcionament dels sistemes predictius d’informació a l’usuari sobre l’estacionament.
- Millora dels inputs del model predictiu en base a la creació d’un nou model.
- Estudi de les afectacions dels sistemes predictius envers la millora de l’experiència de l’usuari i la mobilitat de la ciutat

1.3 METODOLOGIA

Aquest treball està compost per vuit capítols que descriuen l’estudi dels diferents sistemes d’informació sobre la disponibilitat en l’estacionament en calçada, i la seva implantació a la ciutat de Barcelona.

El capítol 1 proporciona una breu introducció al problema de la congestió de les zones urbanes per l’efecte de la recerca de l’aparcament.

Seguidament, el capítol 2 descriu el marc històric de la mobilitat i la regulació de l’aparcament a Barcelona.

En el capítol 2 es mostra una revisió bibliogràfica dels diferents sistemes d’informació d’aparcaments que s’han dut a terme en diferents països del món.

El capítol 3 introdueix el sistema predictiu que es vol aplicar a la ciutat de Barcelona

Al capítol 4 es realitza un estudi del funcionament del model d’informació predictiu, analitzant les seves oportunitats i restriccions.

Seguidament, de la necessitat de millora d’alguns aspectes del model, neix la creació d’un model de refinament dels inputs del sistema predictiu que s’explica al capítol 5.

Al capítol 6 es realitza un primer cas pràctic d’ambdós models en dues zones de Barcelona, Hospital Clínic i Ronda Sant Pere.

En el capítol 7 s’analitzen les afectacions que els canvis en la semaforització del model tenen respecte a la fiabilitat, resposta de l’usuari i la promoció del transport públic.

Finalment les conclusions del present treball es donen al capítol 8.

2. ESTAT DE L'ART DELS SISTEMES D'INFORMACIÓ

2.1 LA MOBILITAT I L'ESTACIONAMENT

La mobilitat en zones urbanes, s'ha convertit en un problema cada vegada més greu i difícil de manejar en les últimes dècades. El continu creixement en el nombre de vehicles circulant a la ciutat, conjuntament amb algunes ineficiències en la gestió de la congestió urbana, tenen conseqüències en la qualitat de vida, no només del conductors sinó que també per la resta de ciutadans que es veuen influenciats per aquest fenomen.

El vehicle privat, malgrat que actualment està positivament valorat per ser un punt decisiu en l'estatus social i trobar-se per sobre dels altres mitjans de transport, també és un dels medis que més externalitats genera. Segons el Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona [10], el seu ús intensiu en les ciutats provoca els següents impactes negatius:

- Pèrdua d'espai urbà habitable
- Consum energètic
- Deslocalització comercial
- Accidentalitat
- Soroll i vibracions
- Soroll i vibracions
- Intrusió visual
- Ineficiència econòmica
- Disminució de l'equitat

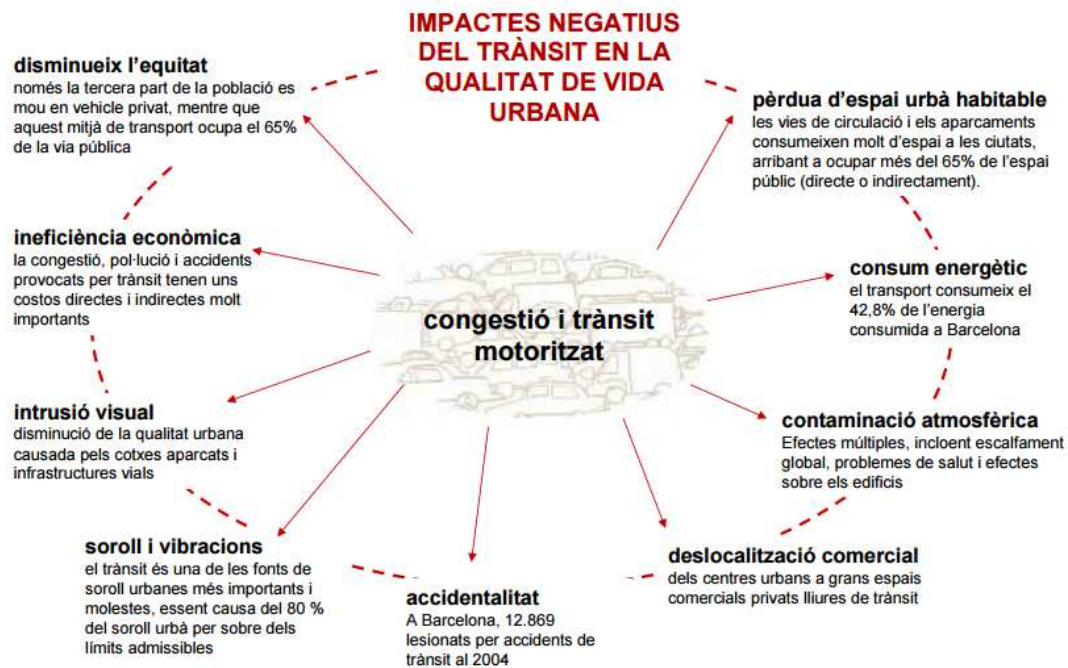


Figura 1: Impactes negatius del trànsit en la qualitat de vida urbana (Font: Ajuntament de Barcelona).

“Des d’un punt de vista macroeconòmic, la societat paga un cost molt elevat per a la mobilitat urbana i cada usuari s’adapta als seus patrons de viatge per tal de reduir el dèficit estructural de la xarxa de transport” [8].

En aquesta línia, la disponibilitat i oferta d’aparcament en calçada té una influència decisiva en el mitjà de transport utilitzat pels ciutadans que realitzen un viatge amb destí o origen a la pròpia ciutat.

La facilitat a l’hora d’estacionar el vehicle a la ciutat, el temps necessari per trobar una plaça lliure i fins i tot el preu de l’operació són factors que poden arribar a condicionar els ciutadans envers un mode de transport o un altre, i fins i tot canviar les pautes horàries dels desplaçaments.

2.2 INTRODUCCIÓ ALS SISTEMES D’INFORMACIÓ A L’USUARI

En el últims anys, s’han implementat noves tecnologies TIC que donen informació als usuaris sobre l’estat d’ocupació dels aparcaments que es troben sota calçada. Hi ha diverses tècniques que proporcionen als conductors informació en temps real sobre l’ocupació dels aparcaments i guien a la propera plaça d’aparcament lliure.

Algunes tècniques com els sistemes de comptatge d’inducció tradicionals de bucles i vídeo de detecció [16], així com xarxes sense fils segures, estan disponibles en els aparcaments per gravar l’entrada i sortida de vehicles existents.

El nombre d’espais lliures, o el grau d’ocupació, es mostra a l’usuari en panells de missatge variables. D’aquesta manera, els conductors són guiats a les instal·lacions d’aparcament disponibles amb senyals de direcció [17].

Segons la literatura [17], amb aquest tipus de sistemes s’aconsegueix:

- Disminució del consum energètic.
- Reducció del temps de viatge.
- Disminució de les distàncies de viatge innecessaris, emissions, i la mitigació de la contaminació acústica.
- Disminució de l’estrès i augment de la comoditat de l’usuari.
- Disminució del risc d’accidents;

Anàlogament, seria un objectiu desitjable obtenir aquesta informació per a espais d’estacionament en calçada. Però aquesta tasca resulta més difícil, ja que les “entrades” i “sortides” en aquests casos no estan tan ben definides, i per tant el recompte no resulta tan evident.

No obstant, en els últims anys s’han realitzat estudis i proves pilot d’alguns sistemes de informació d’estacionament en la via pública. Aquests es poden dividir en dos grans grups, els sistemes d’informació a temps real i els sistemes predictius.

El primers, detecten els vehicles estacionats a la via pública mitjançant sistemes de càmeres que prenen imatges panoràmiques del carrer [18], sensors disposats a la carretera [19], així com sistemes de parquímetres vinculats per buscar espais lliures mitjançant sensors infrarojos.

Altres alternatives per detectar l’ocupació de les places d’estacionament en calçada, també es basen en xarxes de sensors sense fils, que disposen de nodes de sensors autònoms [21].

Però malgrat l’evolució d’aquestes noves tecnologies i sistemes d’informació, una gran part d’aquestes han fracassat degut al alt cost que la seva implementació i manteniment, en quant a infraestructura, suposa per a l’administració reguladora corresponent.

Per tant en aquest estudi s’analitzaran els diferents sistemes de informació d’aparcament que no requereixen d’una infraestructura costosa a la ciutat.

2.3 NECESSITAT DELS SISTEMES D’INFORMACIÓ D’APARCAMENT

Una política d’estacionament eficient, comporta conseqüències positives en la mobilitat de la ciutat. En aquesta línia, la reducció del ús del vehicle privat a la ciutat és un objectiu desitjable, ja que amb si porta de forma implícita a la reducció del trànsit d’agitació.

La influència que els sistemes d’informació tenen sobre la decisió de l’usuari, respecte a l’elecció modal de transport, és un punt clau en aquesta estratègia.

Les decisions dels conductors, estan influenciades en la seva majoria per experiències passades així com per la percepció en temps real que el conductor té sobre la via pública. L’estacionament és un cas en que es dona aquest fenomen, i la decisió del mode de transport es basa en l’experiència del propi usuari.

Així doncs, *“si tots els conductors actuen sense la informació necessària, i prenen decisions desinformatats, probablement recorreran a decisions òptimes similars a les que prenen la resta de conductors i aquest fet condueix a la congestió de les vies urbanes de la ciutat”* [27].

D’altra banda, la difusió d’informació sobre la disponibilitat d’aparcament precisa i oportuna pot conduir a una millor presa de decisions i una recerca més eficient de l’aparcament. Aquest tipus d’estratègies, poden conduir a una millor gestió del sistema, mitigació de la congestió a causa del trànsit d’agitació i evitar així les externalitats que l’ús intensiu del vehicles privat comporta.

Per tant, sembla interessant l’estudi i implementació de sistemes d’informació d’estacionament a l’usuari en la via pública.

Recentment, s’ha generat un debat entre la idoneïtat dels sistemes predictius envers els sistemes que proporcionen informació de l’ocupació de les places a temps real. És evident que ambdós sistemes tenen les seves avantatges i inconvenients, per aquest motiu es necessari un estudi de les seves característiques.

2.4 SISTEMES D'INFORMACIÓ D'OCUPACIÓ A TEMPS REAL

Una gran part dels sistemes d'informació a temps real que estan sortint al mercat, i que no disposen d'una infraestructura de sensors o altres dispositius a la ciutat, es basen en el *Crowdsourcing*.

El *Crowdsourcing*, o la col·laboració oberta, consisteix en externalitzar les tasques que un individu o sistema realitza per ser distribuïdes i mostrades massivament en una convocatòria comuna, on un gran nombre d'usuaris la pugui consultar.

En aquest sentit, les gran avantatges d'aquest nou sistema es basen en:

- Compilació d'una gran varietat de propostes d'alta qualitat per part de la teva comunitat.
- Disminució de costos
- Feedback massiu i permanent.
- Generació contínua d'idees innovadores.

En aquest apartat, es veurà com s'aplica el sistema de *Crowdsourcing* en les noves tècniques de millora de l'estacionament.

2.4.1 Anagog predictive system

Les companyies de tecnologies TIC israelites han desenvolupat un sistema que afronta el problema de l'estacionament de forma diferent. Aquest sistema es basa en la predicció de places d'aparcament lliures mitjançant l'anàlisi d'informació del propi telèfon mòbil.

Anagog ha desenvolupat una aplicació que pot guiar els conductors a places lliures d'aparcament en calçada, utilitzant en temps real, les dades de tipus *crowdsourced* dels telèfons mòbils.

D'aquest creuament d'informació dels diferents terminals mòbils, s'ha creat un algoritme d'avaluació d'estat de la mobilitat, que prenen decisions en temps real basats en l'estat general de tots els sensors de telèfons intel·ligents pertinents, amb el consum de la bateria només al voltant de l'1% per a una operació de dia complet [23].

El software d'Anagog aprèn del comportament personal i sap el moment en que un usuari entra al cotxe i quan comença la seva ruta deixant així una plaça lliure. Aquesta informació l'obté dels sistemes que el propi telèfon té integrat, com l'acceleròmetre, el GPS, el baròmetre...



Figura 2: Sistemes d'obtenció d'informació d'Anagog.

(Font: <http://anagog.com/>)

Per utilitzar el sistema d'Anagog, els usuaris accedeixen a l'aplicació a mesura que s'acosten al seu destí. El resultat és un mapa dels carrers que es mostra a la pantalla, amb les ubicacions dels punts recentment desocupats.

El sistema no indica totes les places d'aparcament lliures, només les que queden lliures per altres usuaris d'Anagog. Per tant, un cop que l'aplicació té un volum d'usuaris prou gran, el sistema es fa cada cop més eficient, ja que detecta més places lliures.

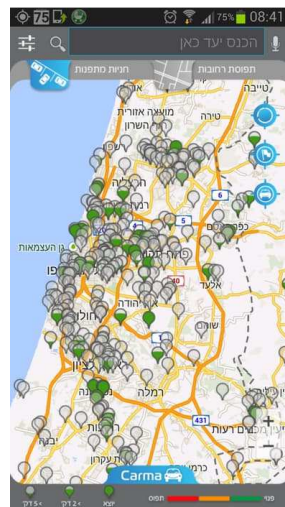


Figura 3: Visualització del sistema Anagog.

(Font: <http://www.gizmag.com/anagog-parking-spot-finder>)

El funcionament d'aquest sistema s'executa constantment en un segon pla, en els telèfons dels usuaris, i supervisa els sensors del telèfon per tal de determinar l'estat de la mobilitat de l'usuari. Aquest procés de control permet que el programa pugui determinar on i quan, cada usuari, ha deixat de conduir i surt del seu cotxe.

A més, també observa quan l'usuari està caminant de tornada a la ubicació del vehicle estacionat. D'aquesta manera, és capaç de notificar a altres usuaris no només del fet que una plaça s'ha alliberat, però també pot informar que la plaça està a punt de quedar-se lliure. Això li permet a l'usuari del vehicle que busca aparcament estar llest per atrapar el lloc tan aviat com l'altre cotxe es retira.

2.4.2 Hi-Park Last Mile Parking Navigation App

Hi-Park és un sistema de navegació que permet als seus usuaris rebre informació pas a pas del destí desitjat, incloent el temps estimat per trobar un lloc d'estacionament.

El sistema utilitza la càmera intel·ligent del *smartphone* per detectar e informar sobre aparcaments lliures mentre l'usuari condueix per la ciutat. D'aquesta manera, les dades a temps real en combinació amb dades estadístiques històriques del propi sistema, es crea un algoritme de navegació que permet crear rutes òptimes per trobar estacionament [24].

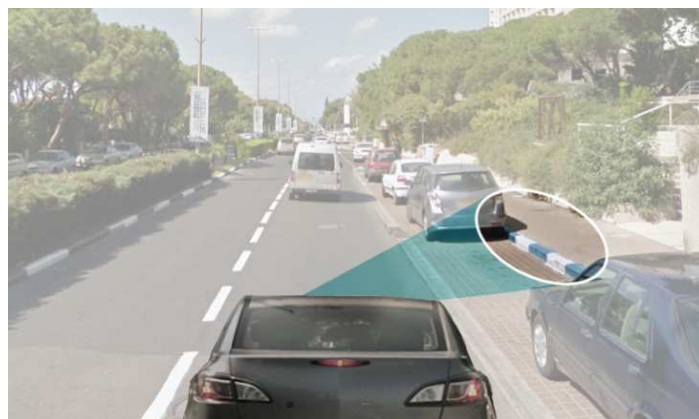


Figura 4: Funcionament del sistema de detecció de places lliures Hi-Park

(Font: <http://www.hi-park.co/our-technology/>)

L'algoritme de Hi-Park escaneja la carretera mentre l'usuari circula, identificant els possibles espais buits que s'adapten a la mesura del vehicle. Cada buit, per tant, es identificat amb una localització i pujat al sistema per a que els altres usuaris puguin accedir a la informació. D'aquesta forma, els usuaris que circulen per la ciutat, van aboquen massivament dades sobre espais lliures d'estacionament el sistema.

En contrapartida, el temps es molt important en aquest tipus de sistema. Hi-Park no pot evitar que un altre conductor ocupi l'espai on el primer conductor es dirigia, encara que el sistema en aquest cas mostrarà places lliures que estiguin a prop de la localització del vehicle .

D'aquesta forma, el sistema necessita només, una fracció dels conductors dins d'una ciutat per convertir-se en contribuents per mapejar amb precisió i de forma contínua actualitzant les places vacants d'aparcament a la via pública a tota la ciutat

La tecnologia del sistema, permet una separació completa entre la comunitat que troba places d'aparcament i els usuaris que estan buscant per aparcar el seu cotxe. La plataforma, doncs, permet l'equilibri de càrrega de places d'aparcament i altre informació d'una manera que es pot integrar en qualsevol proveïdor d'aplicació de navegació / servei existent.

2.4.3 Wazypark

Una altra versió dels sistemes informatius a temps real que s'ha implementat recentment a Epaña, és el Wazypark.

Wazypark és una plataforma d'aparcament col·laboratiu que fa ús de la informació que ofereixen els usuaris d'una forma desinteressada, per al benefici de la resta de la comunitat.

El funcionament és bastant senzill, quan un usuari que té el cotxe aparcad deixa l'estacionament lliure,i conseqüentment comunica a l'aplicació quant temps trigarà en abandonar la plaça. De forma seguida, l'usuari que està fent servir l'aplicació per buscar lloc, veu a temps real la informació de places lliures indicades per la resta d'usuaris i es dirigeix a estacionar a la destinació mostrada.

A més a més, el propietari del vehicle aparcad pot rebre notificacions de la zona amb avisos de vandalisme, desperfectes al cotxe, presència d'agents de mobilitat multant o qualsevol altra incidència que es pugui donar.



Figura 5: Visualització del sistema Wazypark.

Aquest sistema per tant, no necessita de cap dispositiu de reconeixement ni algoritmes predictius, es basa només en la col·laboració entre els diferents usuaris que conformen la plataforma virtual.

En un futur, es pretén que aquest tipus d'aplicació es puguin integrar en els cotxes per evitar tenir el telèfon intel·ligent encès. De forma que al connectar el sistema GPS del turisme, el sistema busca llocs lliures a la via pública amb la finalitat de reduir el temps de recerca de plaça lliure d'aparcament.

2.5 SISTEMES D'INFORMACIÓ D'OCUPACIÓ PREDICTIUS

Per tant, aquest model d'aparcament es basa en un sistema predictiu a curt termini, ja que la informació que pot arribar a donar a l'usuari respecte una plaça lliure d'estacionament es amb una mitja de 3 minuts abans de que l'usuari que ocupa la plaça comenci el seu desplaçament.

Actualment Anagog té al voltant de 100.000 usuaris per tot Israel, que utilitzen aquest sistema com a eina per facilitar la feixuga tasca de la recerca d'estacionament [22].

2.5.1 Parknav system

El sistema de recerca d'aparcament Park-nav, fundat a Chicago va ser implementat a les ciutats de Chicago i Munich.

L'App Parknav recull i analitza recursos de dades públiques, així com d'usuaris, per donar als conductors el millor tipus d'àrea d'aparcament, incloent informació relativa a taxes de l'aparcament i fins i tot informació relativa als aparcaments sota calçada prop d'una ubicació desitjada [26].

El mapa proporciona pas a pas les adreces, i un sistema de tres colors de verds, taronges i vermelles mostren taques dins d'una àrea al mapa que mostra el percentatge estimat que l'usuari té per aconseguir un lloc.



Figura 6: Visualització del sistema Park-nav.

(Font: <https://parknav.com/#explanationSection>)

El nou concepte de Parknav utilitza el sistema del propi cotxe connectat i calcula en base a principis de *big data* l'ocupació de les places. La informació rellevant es fa fora de pronòstic, les estadístiques i el trànsit en temps real. Així doncs, l'aplicació calcula la probabilitat de que una plaça d'aparcament estigui lliure.

2.6 COMPARATIVA

Com s'ha vist en els apartats anteriors, existeixen dos grans grups en que segmentar els sistemes d'informació d'aparcament a l'usuari. Per una banda es troben els sistemes basats en el *crowdsourcing*, que mitjançant sistemes de detecció de places lliures o les pròpies indicacions dels conductors, donen a temps real dades sobre ubicacions de places lliures prop de la situació de l'usuari.

En un segon escenari, es troben els sistemes predictius. Aquests no utilitzen informació dels usuaris a temps reals, sinó que en base a la informació que es té (*big data*) del comportament dels usuaris envers l'estacionament i dades històriques d'ocupació de places, s'elaboren algoritmes capaços de predir l'ocupació de les places d'estacionament en la via pública.

El *crowdsourcing* s'ha vist com un gran punt d'interès d'estudi recentment, ja que es tracta d'una solució amb molt potencial per a una àmplia gamma de problemes tècnics, incloent l'aparcament a les gran ciutats i zones urbanes.

No obstant, la implementació i funcionament del *crowdsourcing* porta de forma implícita el desenvolupament de nous sistemes de detecció tecnològics, com els que s'han abordat en els casos anteriorment descrits. Sistemes integrats en el propi

smartphone que poden arribar a detectar espais lliures d’estacionament en la via pública.

Un altre punt, es basa en que la base del funcionament d’aquests sistemes es fonamenta en la participació del usuaris, així doncs, és important implementar un bon disseny d’incentius per a que els usuaris aboquin les seves dades.

Altres aspectes com la precisió de la localització via GPS i l’autenticitat de la informació necessiten, encara, seguir sent objecte d’estudi i desenvolupament.

Com s’introduïa a l’ inici de l’apartat, la gestió de la informació pot arribar a tenir conseqüències molt positives en la mobilitat en funció del moment en que es dona. Per aquest motiu, l’anàlisi de la influència dels sistemes descrits envers la decisió de l’usuari respecte el mode de transport, és un punt clau en l’estudi.

- Sistemes d’informació a temps real. En aquest tipus de sistemes, l’usuari que vol trobar plaça lliure d’aparcament, rep la informació del model en el moment en que es troba a prop del seu destí. Si s’analitza, queda clar que l’usuari un cop s’està desplaçant ja no pot canviar de mode de transport, llavors la informació que el model li dona respecte l’estacionament es irrellevant en relació a estratègies de promoció del transport públic. A més, es podria dir, que donar informació a temps real sobre l’ocupació de les places, pot arribar a tenir l’efecte contrari, ja que aquests sistemes en realitat incentiven l’ús del vehicle privat.
- Sistemes d’informació predictius. Aquests en contrapartida, permeten a l’usuari consultar l’estat de l’estacionament als centres urbans moments abans de realitzar el desplaçament. D’aquesta manera, l’usuari pot decidir quin mode de transport utilitzar en funció de les seves prioritats envers l’ocupació dels trams, el preu de la zona i el temps de viatge necessari, o inclús canviar la seva destinació cap a altres zones que estiguin menys ocupades. L’aplicació d’aquest tipus de model pot conduir, per tant, a fomentar l’ús del transport públic i inclús distribuir la demanda d’aparcament en les diferents zones de la ciutat.

3. SISTEMA D'INFORMACIÓ A L'USUARI A BARCELONA

3.1 L'ESTACIONAMENT EN L'ESPAI URBÀ A BARCELONA

3.1.1 La ciutat de Barcelona

La ciutat, va ser catalogada com a una gran ciutat europea, per la seva excel·lent situació dins del territori català que va permetre la seva posterior expansió fins al que coneixem avui dia. Per concebre aquests privilegis, s'ha de conèixer prèviament la morfologia del territori i contextualitzar-la en el període industrial.

Barcelona, localitzada entre dos passadissos oberts per la xarxa hidrogràfica (Ter-Congost-Besòs i Cardener-Llobregat) va permetre el descens de l'industrialització en direcció a la costa. A diferència de la Depressió Central, que també s'aprofitava de la xarxa hidrogràfica, Barcelona coincidia amb aquelles direccions dominants dels passadissos estructurals, sent a més el lloc més ampli en extensió de la Depressió Litoral amb una vasta plana entre la costa i els primers contraforts de la Serralada Litoral, a Collserola.

Durant la primera industrialització, diverses ciutats podien competir amb Barcelona en grandària i fins i tot amb la incipient industrialització (és el cas de ciutats com Mataró, Sabadell, Terrassa, etc.), no obstant això, cap d'elles va arribar a assolir el potencial econòmic de Barcelona ja que la situació d'aquesta era immillorable com es corroborava anteriorment.

Conseqüentment, la disposició dels elements geogràfics han esdevingut eixos estructuradors del territori i factors potenciadors del desenvolupament i l'economia de la zona, concentrant el creixement dintre dels límits naturals definits.

A més, la reforma urbanística que es va dur a terme en el Pla Cerdà 1860, va definir les principals directrius de creixement de la ciutat de Barcelona i va suposar l'ampliació dels límits que existien en la trama medieval.

Va ser al segle XX, quan la ciutat es va consolidar com a punt de atracció i concentració de població degut a les necessitats de capital humà que el desenvolupament industrial i econòmic havien derivat.

Arribats als anys 50, la urbanització i creixement accelerat de la perifèria de la ciutat, van conduir a un nou model d’urbanisme que va derivar a la metròpoli. Un cop arribats a la dècada dels 60, ja es va incorporar el concepte d’àrea metropolitana com el conjunt de territoris amb una urbanització de més del 48% del terreny.

Finalment, gràcies a aquesta posició privilegiada al mapa i les dinàmiques urbanístiques que s’han dut a terme a llarg dels anys, Barcelona ha esdevingut la gran ciutat que és actualment.

3.1.2 La mobilitat a la ciutat i el trànsit d’agitació

Barcelona i la seva àrea metropolitana, juntament amb altres capitals europees tenen un valor significatiu en el grau de motorització tot i no tenir especialment el major índex de turismes per habitant si es compara amb algunes ciutats italianes.

De tots els viatges que es realitzen a diari, un total de 7.833.495, el 64% corresponen a desplaçaments interns, mentre que el 36% restant són desplaçaments amb origen o destí Barcelona [10].

Com es pot veure a la següent imatge, el repartiment modal d’aquests viatges es realitzen en un 40% en transport públic, mentre que el 32% a peu i finalment el 28% del total de viatges es realitza en transport privat.

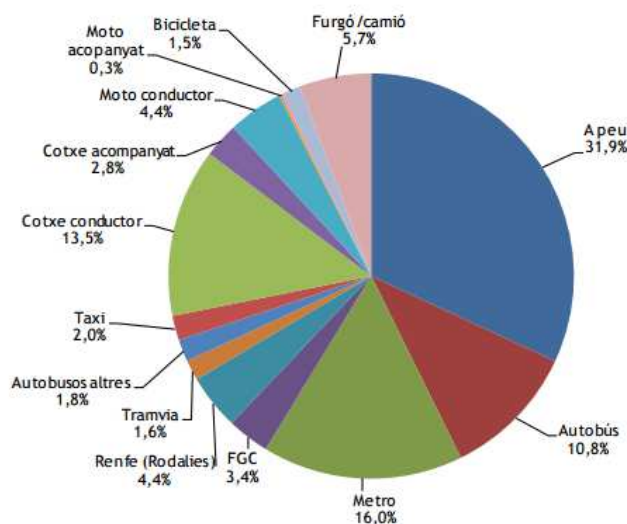


Figura 7. Distribució modal de les etapes de desplaçaments a Barcelona, 2011.

(Font: Pla de mobilitat Urbà, PMU, 2015)

Respecte als desplaçaments interns en la ciutat, el 46% dels viatges són realitzats a peu, mentre que el 34 % en transport públic i el 17% restant en vehicle privat. Aquestes xifres varien considerablement si s'analitzen els desplaçaments intermunicipals, on el mode predominant és el transport públic amb 50,4% de desplaçaments i el transport privat duplica la seva taxa envers els desplaçaments interns fins el 42,4% dels viatges.

Per tant, la gran part dels viatges que es fan a la ciutat amb vehicles privats són per forans que per motius de treball o oci es desplacen a l'interior de Barcelona. S'entén que aquests seran els majors usuaris de les zones d'estacionament en calçada, probablement de l'Àrea Blava en la seva majoria.

Quan aquests viatgers arriben al seu destí inverteixen un temps del viatge en la recerca de places lliures per estacionar el seu vehicle. Aquest fenomen es coneix com trànsit d'agitació i és un dels principals causants de la congestió en les vies internes de la ciutat, malgrat que la seva quantificació resulta un exercici amb un grau de dificultat força elevat.

El trànsit d'agitació crea cues de vehicles que es troben a l'espera de places lliures per estacionar. El punt més crític es basa en que la seva identificació no és un aspecte trivial, ja que ningú pot comprovar a simple vista la quantitat de vehicles que es troben cercant aparcament i els que es desplacen a un altre destinació.

Alguns estudis han analitzat les càmeres de vigilància de trànsit, observant el comportament dels fluxos de vehicles i s'han obtinguts els següents resultats [14]:

Year	City	Share of traffic cruising (percent)	Average search time (min)
1927	Detroit (1)	19%	
1927	Detroit (2)	34%	
1933	Washington		8.0
1960	New Haven	17%	
1965	London (1)		6.1
1965	London (2)		3.5
1965	London (3)		3.6
1977	Freiburg	74%	6.0
1984	Jerusalem		9.0
1985	Cambridge	30%	11.5
1993	Cape Town		12.2
1993	New York (1)	8%	7.9
1993	New York (2)		10.2
1993	New York (3)		13.9
1997	San Francisco		6.5
2001	Sydney		6.5
Average		30	8.1

Tabla 1: Trànsit d’agitació en ciutats al segle XX. (Font: Shoup, Donald. (2007), [14])

Entre el 8 i el 74 per cent del trànsit es trobava en la recerca de places lliures d’estacionament, i el temps mitjà per trobar un espai va oscil·lar entre 3,5 i 14 min.

Al llarg d’aquest temps invertit en buscar aparcament es generen els següents fenòmens..

Degut a que amb aquest estudi es pretén mitigar les externalitats causades pel trànsit d’agitació ocasionat en la recerca de places lliures d’estacionament, en un primer moment es pensa, que l’àmbit d’estudi més adequat per realitzar l’anàlisi seran les zones d’estacionament de l’Àrea Blava.

3.1.3 Gestió de l’aparcament en calçada a Barcelona

3.1.3.1 Gestió de l’oferta

Com s’ha esmentat en la introducció, l’aparcament és un instrument clau en la gestió de la mobilitat. Com a conseqüència de les dinàmiques de regulació de l’aparcament en calçada al llarg dels últims anys, Barcelona ha experimentat una gran transformació envers l’estacionament en la via pública.

Les polítiques municipals que s’han implementat en els darrers 33 anys han fet que la regulació de l’estacionament estigui present a gairebé tots els districtes de la ciutat.

L'any 1983 apareixen les primeres 231 places regulades de Zona Blava entre el Passeig de Gràcia i la plaça de la Vila de Madrid amb la finalitat de incentivar la rotació de vehicles en aquelles zones on l'oferta d'aparcament no cobria la demanda [12].

Amb aquesta estratègia es va augmentar la rotació de les places, ja que la implementació de tarifes amb un temps màxim d'estacionament, dissuadien les estades llargues de vehicles. Per mitigar les infraccions de vehicles que estacionaven a la vorera, per així estalviar-se la tarifa, es va encarregar una vigilància de les zones per controlar-ho.

En 1984 aquestes places es van ampliar fins a 648 amb un total de 34 parquímetres on realitzar el pagament corresponent a l'ús de les zones regulades, i l'any 2005 ja es comptava amb unes set mil places d'estacionament regulat en calçada per tota la ciutat.

Des d'aleshores, s'ha continuat implementant polítiques municipals de regulació i millora de l'estacionament com:

- Zones de càrrega i descàrrega (2001).
- ZonaBus. Millora les operacions dels autocars turístics (1997).
- Regulació de places de motos.

Al llarg dels anys 2000 i 2004, motivat per la preocupació que es tenia per la tendència creixent del col·lapse de les vies Barcelonines, l'Ajuntament va proposar una mesura per reduir de forma considerable els desplaçaments a la ciutat en vehicle privat. Així doncs els objectius principals de les mesures es basaven en:

- Millorar la fluïdesa del trànsit.
- Millorar la qualitat mediambiental (emissions de fums i sorolls).
- Aconseguir una millor ordenació de l'espai públic.

Aquesta estratègia va consistir en l'aplicació d'un cost en els aparcaments en calçada del centre de la ciutat, el que avui dia es coneix com Àrea Verda. Amb els anys aquesta mesura s'ha anat ampliant fins a l'actualitat, moment en el qual es disposa de 22 zones amb un total de cinquanta mil places operatives.

Actualment, la distribució i tipologia de l'oferta de places d'estacionament a la ciutat de Barcelona es distribueixen seguint l'esquema del següent gràfic:



Figura 8: Tipologia de places d'estacionament.

(Font: Barcelona de Serveis Municipals, BSM).

Segons el Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona [10], un 28% de tota l'oferta d'aparcaments es dona en calçada amb un total de 149.860 places dedicades a l'ús de turismes i 52.562 places per a motos.

D'aquesta manera, amb dades de 2011 es veu que la major part de l'estacionament en calçada encara no està regulat, amb només un 7% d'aparcaments d'Àrea Blava del total dels aparcaments que es troben a la via pública. La distribució de l'oferta d'aparcament en calçada es mostra en la següent figura:

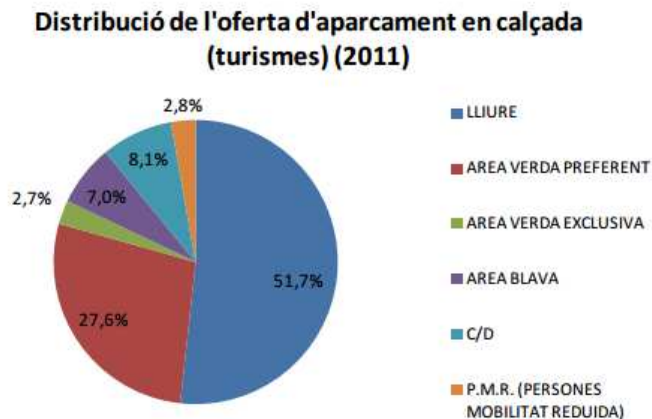


Figura 9: Distribució de l'oferta d'aparcament en calçada. (Font: Barcelona de Serveis Municipals, BSM).

Actualment, l'Ajuntament gestiona al voltant de deu mil places d'Àrea Blava distribuïdes per tota la ciutat.

3.1.3.2 Gestió de les tarifes

Fins aquest punt, s’ha parlat de la gestió de l’aparcament des del punt de vista de l’oferta, però s’ha de tenir en compte que un punt clau en la regulació de l’estacionament es basa en la tarificació del mateix.

El preu, és indubtablement un instrument d’intervenció en polítiques municipals de regulació de l’estacionament. Donar valor monetari a l’ús de la via pública dissuadeix la utilització del vehicle privat i incentiva el canvi a modes de transport més sostenibles com és el transport públic, en cas que existeixi una xarxa de transport adequada.

Així doncs, aquesta estratègia de regulació comporta una disminució de la congestió de les vies degut a que disminueix el trànsit d’agitació, és a dir, el transit degut a viatgers que busquen aparcament.

Un altre punt és, òbviament, el nivell de preus i la capacitat de modificar-los com a instrument de política pública de mobilitat.

Alguns estudis expliquen que les polítiques de preu i la reacció de la demanda enfront aquestes no segueixen una tendència molt marcada. Això es degut a que existeix una elasticitat negativa creixent a mesura que s’incrementa el temps de l’estacionament. És a dir, un increment en el preu de l’àrea dona lloc a disminucions de la demanda que són variables en funció del temps, no tenen una relació de proporcionalitat, i són més elevades com més temps dura l’estacionament [13].

Des d’aquest enfocament, és clar que el preu de les tarifes vist com a eina per gestionar la mobilitat és un punt complicat.

En conclusió, sembla que les eines que fins aleshores s’ha dut a terme en relació a la regulació de l’aparcament en calçada, tenen un marge d’actuació en la actualitat força reduït, i no passen per seguir disminuint l’oferta de l’aparcament en calçada ni per pujar els preus de forma generalitzada.

Amb la finalitat de reduir aquestes externalitats, les gran ciutats europees estan començant a implementar solucions innovadores que donen resposta als impactes socials, econòmics i ambientals que deriven de l’ús, cada cop més abundant, del transport privat.

Aquests noves estratègies per reduir el trànsit d’agitació a les grans ciutats es basen en la implementació de sistemes d’informació als usuaris sobre l’estat d’ocupació dels aparcaments mitjançant l’ús de tecnologies TIC.

L'estudi de les noves tecnologies d'informació de l'estacionament en calçada, que es volen implementar a Barcelona, serà l'objecte d'anàlisi del pròxim apartat del present treball.

3.2 INTRODUCCIÓ AL SISTEMA PREDICTIU A BARCELONA

3.2.1 Introducció

El SIU és un servei que es vol donar tant al ciutadà de Barcelona com al visitat de la ciutat, que li permetrà conèixer la disponibilitat de places d'estacionament regulades en calçada en un àmbit concret de la ciutat. En aquest cas s'estudiarà la disponibilitat de places lliura de l'Àrea Blava de Barcelona.

A aquest sistema d'informació se l'anomena SIU, acrònim de Sistema d'Informació a l'Usuari, i pretén posar en funcionament un sistema d'informació que mostra a l'usuari els nivells d'ocupació dels diferents trams d'aparcament, de forma prèvia al inici del viatge.

D'aquesta manera l'usuari, un dia abans de realitzar un desplaçament, podrà consultar l'estat de l'ocupació dels trams d'estacionament en el seu destí y prendre una decisió del tipus de mode de transport que utilitzarà.

El sistema d'informació d'ocupació de trams d'estacionament en calçada es basa en dos models matemàtics que s'alimenten de dades històriques sobre pagaments a les places d'estacionament en calçada de l'Àrea Blava i informació georreferenciada de trams i parquímetres de tota la ciutat de Barcelona.

El primer model (Model d'assignació tram-parquímetre) és l'eina fonamental per conèixer quina és l'ocupació de cada tram segons les recaptacions dels parquímetres, és a dir, l'input del model predictiu. El model relaciona de forma percentual trams i parquímetres en funció de les places de que disposa cada tram i uns criteris de relacions favorables i desfavorables entre els mateixos.

Per obtenir aquesta informació, el model tram-parquímetre s'alimenta de dades de localització i identificació de parquímetres i trams.

Un cop, la relació entre trams i els parquímetres s'obté, aquesta s'introdueix conjuntament amb la informació requerida a l'usuari, al segon model. Aquest últim, el model predictiu, demana a l'usuari el destí i l'hora a la que vol estacionar a una zona de Barcelona.

Aquesta informació s’introdueix al model i seguidament l’usuari pot veure, mitjançant una App mòbil, un mapa de la zona desitjada amb els trams de l’Àrea blava pintats de diferents colors.

Els colors dels trams mostren l’ocupació predita de forma semafòrica. Un tram mostrat en color vermell informa a l’usuari de que les probabilitats d’estacionar en calçada en la zona i horari establerts són molt escasses. Trams de color taronja indiquen que les probabilitat de trobar lloc on estacionar el vehicle són mitjanes, i finalment trams de color verd informen que en la zona hi ha una probabilitat alta de trobar lloc.

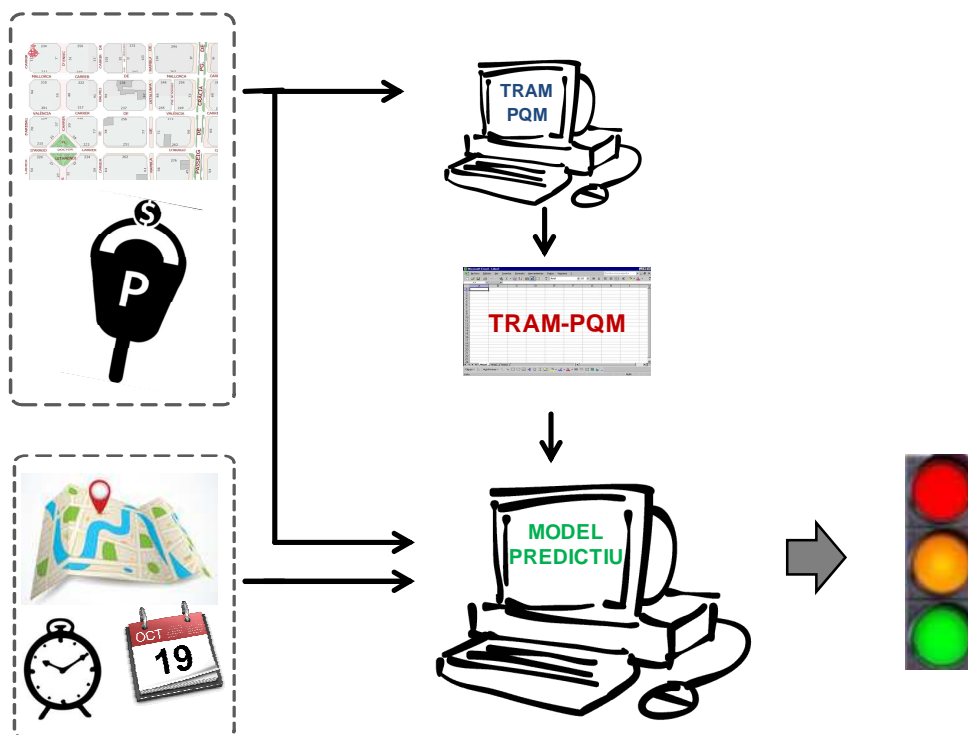


Figura 10: Execució del sistema d'informació a l'usuari.

3.2.2 Definició del model predictiu

El model parteix de tres hipòtesis bàsiques:

- És pot establir una estimació de l'ocupació real de trams d'aparcament, en base únicament a la informació que s'obté del pagament als parquímetres.
- El conjunt de dades històriques de pagament, permeten realitzar una estimació predictiva de l'ocupació pagada en funció de variables conegudes sobre un dia futur concret.

- La relació entre l'ocupació pagada i l'ocupació real és estimable i a efectes de model suficientment sòlida com per ser parametritzada en funció de variables conegudes.

L'arquitectura del procés per a obtenir el model d'estimació predictiva de l'ocupació d'un tram és el següent:



En primer lloc, el sistema realitza un anàlisi de les dades històriques de pagament. Mitjançant anàlisi estadística s'estableixen patrons de dades que, amb un interval de confiança mínim, permeten establir tipologies de dies. És a dir, s'estableixen relacions entre dies iguals de la setmana corresponents a diferents setmanes, degut a les similituds de comportament que poden tenir.

Un cop obtingudes les corbes típiques de l'ocupació pagada, amb el seu interval de confiança, es realitza l'estimació de l'ocupació real en base a paràmetres històrics en un model auto calibrat que permet establir un grau d'ocupació, verd, groc o vermell, per a un tram concret.

D'aquesta manera, en funció de les variables del model, es realitza l'assignació d'ocupació del tram del dia següent.

A nivell predictiu, en base a les variables característiques del model, es realitza una assignació de corba característica del dia següent, per a aleshores, en base a les tendències i al calibrat del model permeti establir el nivell d'ocupació del dia.

3.2.3 Definició del model d'Assignació Tram-Parquímetre

L'Input base del que s'alimenta el model predictiu es basa en les recaptacions que s'obtenen als parquímetres i els pagaments que es realitzen mitjançant l'App mòbil. En el cas dels parquímetres, aquesta informació dona a conèixer quina és l'ocupació del parquímetres, però no diu res respecte de quins trams o places d'aparcament prové aquesta recaptació.

Per altra banda, pel que fa a l'App mòbil, gràcies al sistema GPS del dispositiu podem conèixer de forma bastant precisa d'on prové el pagament. L'assignació en aquest cas és directa.

Per tant, resulta un punt de vital importància realitzar una bona assignació tram-parquímetre. És a dir, saber quina part de la recaptació de cada parquímetre prové de

cada tram. Aquest pas, permetrà conèixer l'ocupació dels trams i per tant l'input principal del model.

Aquesta assignació no és trivial, ja que no existeix una relació directa i senzilla entre trams i parquímetres. L'assignació de parquímetres a trams dependrà d'una sèrie de factors, i aquest procés formarà part de l'afinació del model.

En un primer moment, es va pensar en realitzar aquesta assignació de forma manual, degut a que el teixit urbà no és homogeni i això fa que l'assignació no sigui trivial. Malgrat que, tenint en compte que aquest model es vol aplicar a tota la ciutat, i que l'assignació de tam-parquímetre no és manté fix en el temps, resulta necessari que es realitzi un procés automatitzat i no pas manual.

Per aquest motiu, en aquest estudi s'ha realitzat un model automàtic d'assignació tram-parquímetre que donarà com output les assignacions descrites.

Les característiques i propietats del model són descrites al capítol5.

4. MODEL PREDICTIU

4.1 DADES D’ENTRADA I SORTIDA DEL MODEL

Les dades d’entrada del model predictiu necessàries per realitzar la predicció d’ocupació de trams d’estacionament regulats en calçada són les següents:

4.1.1 Trams

La informació relativa a trams que s’utilitzen com a input del model es basa en la localització dels trams amb coordenades rectangulars, el seu identificador així com el número de places que conté cada tram.

El motiu pel qual s’han utilitzat trams (agregació de places) i no places d’estacionament, és degut a que l’element més petit o disgregat de la base de dades amb geolocalització de que es disposa és el tram i no la plaça.

Aquests trams no són uniformes sinó que cada tram disposa d’un nombre de places diferent en funció de la seva localització a la ciutat. Per tant, existeixen trams amb un nombre de places molt petit i altres trams que disposen d’un gran número de places en el mateix.

El volum de dades relatives a trams que entren en el model, abasten tota l’oferta de places d’estacionament de zona blava de tota la ciutat de Barcelona.

4.1.2 Parquímetres

Respecte els parquímetres de la ciutat on es poden realitzar els pagaments, la informació d’entrada requerida pel model es basa també en un identificador del parquímetre, la tarifa que accepta el mateix, la seva geolocalització y els ingressos que es fan en el parquímetre corresponent.

Com en el cas anterior, el volum de dades relatives a trams que entren en el model, abasten tota l’oferta de parquímetres en que es pot pagar la zona blava de la ciutat.

També s’han de tenir en compte els pagaments que es realitzen mitjançant l’App mòbil corresponent a l’Àrea Blava de Barcelona. Aquest input juntament amb la recaptació dels parquímetres donarà l’ocupació dels trams.

4.1.3 Assignació tram-parquímetre

Com s'explica en l'apartat anterior, per relacionar l'ocupació pagada al parquímetre amb l'ocupació pagada i real als trams, es necessari saber quina és la relació dels trams amb els parquímetres.

Per tant, aquesta dada d'entrada correspon a l'output del model tram-parquímetre on es donen una sèrie de relacions de trams amb parquímetres en tant per cent, que serà introduïda al model predictiu.

4.2 METODOLOGIA DEL MODEL PREDICTIU

4.2.1 Anàlisi de dades històriques i estimació de l'ocupació pagada

L'anàlisi de dades històriques es basa en la transformació de les dades de tiquetatge dels parquímetres i l'aplicació mòbil de pagament en una corba d'ocupació pagada per tram.

No obstant, s'ha de tenir en compte una certa desviació en aquesta ocupació basats en el fet de que es produeix de forma recurrent una diferència entre l'hora final pagada i l'hora final real de l'aparcament.

Degut a aquesta diferència, no es tractarà amb la ocupació pagada directament sinó que es considerarà aquesta dintre d'un interval de confiança com es mostra al següent gràfic:

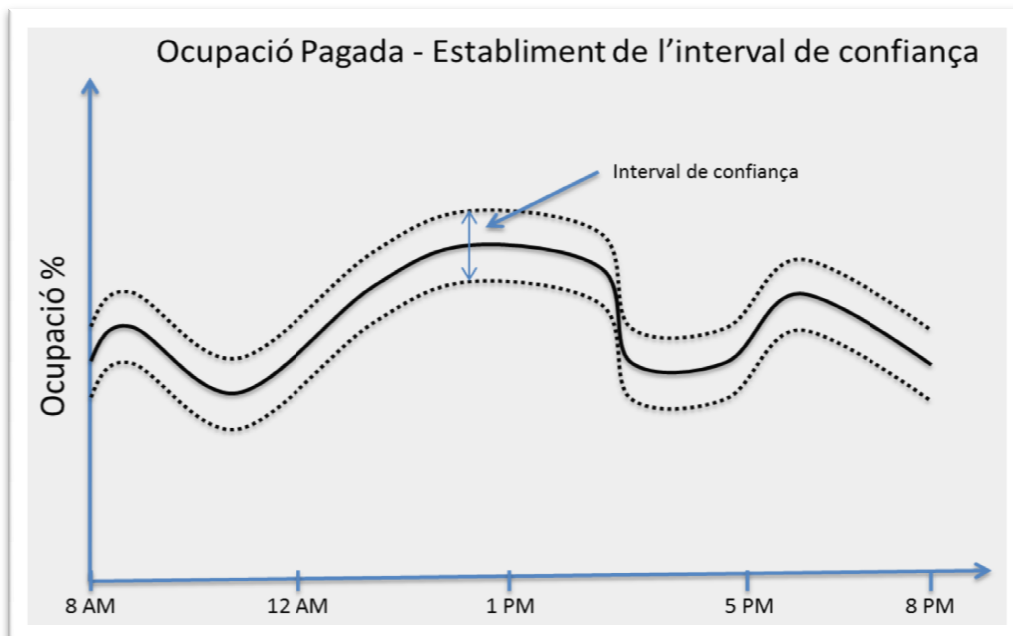


Figura 11: Interval de confiança de l'ocupació pagada per tram

Sense tenir en compte els efectes de la tendència, per a cada dia de l’històric es defineixen possibles variables causals que permeten la comparació entre corbes d’ocupació diàries amb variables similars de forma que es pot correlacionar els dies tipus i les seves respectives corbes.

Els diferents efectes causals que defineixen els dies tipus que es tenen en compte són els següents:

- Temporada de l’any
- Dia de la setmana
- Laborable/Festiu
- Meteorologia

4.2.2 Estimació de l’ocupació real

Tenint en compte el diferencial entre l’ocupació pagada i real degut a diferències entre l’hora final de tiquet i l’hora final real que s’ha tingut en compte en l’estimació de la ocupació pagada per tram i zona, queden dos efectes a tenir en compte per a estimar l’ocupació real: l’ocupació no pagada legal i l’ocupació no pagada il·legal.

Es defineix l’ocupació no pagada legal com aquells estacionaments que es realitzen per part d’alguns col·lectius que estan autoritzats a estacionar sense realitzar pagament. Alguns d’aquest són els vehicles de serveis municipals, policia, col·lectiu de minusvàlids...

D’altra banda, es considera ocupació pagada il·legal aquells estacionaments realitzats per vehicles no autoritzats sense realitzar el corresponent pagament.

L’estimació de l’ocupació no pagada legal es realitza en base a les dades del control de treball de camp i mostrejos ad-hoc. Aquesta informació, dona un interval estimatiu de l’augment que es pot produir en l’ocupació en funció de la ocupació pagada.

L’estimació de l’ocupació no pagada il·legal es realitza, també, en base a dades de treball de camp, dades de vigilants i mostrejos ad-hoc. De la mateixa forma que abans, aquesta informació proporciona de forma estimativa l’increment que es pot produir en l’ocupació en funció de la ocupació pagada.

En funció dels paràmetres definits es configurarà l’estimació de l’ocupació real de la següent forma:

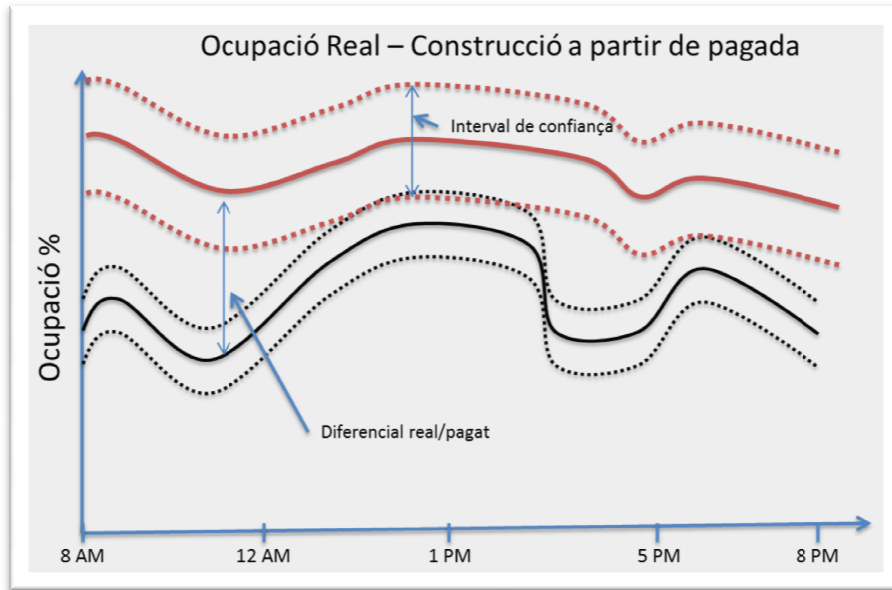


Figura 12: Interval de confiança de l'ocupació real per tram

4.3 PLANTEJAMENT MATEMÀTIC DEL MODEL PREDICTIU

Els models d'ocupació pagada i ocupació real es van estimar per als dies i horaris en què l'aparcament és de pagament, és a dir de dilluns a divendres de 9-14 hores i de 16 a 20 hores, considerant una predicció cada 5 minuts.

4.3.1 Model d'ocupació pagada

El model utilitzat és el model de regressió lineal (LM). Aquest model es va estimar en una finestra temporal de 6 mesos. Al moment de realitzar l'estimació la finestra utilitzada es correspon amb maig de 2015-octubre de 2015, mentre el mes de novembre es va deixar fora de la mostra per així poder validar la capacitat predictiva del model.

Com a mesura de bondat d'ajust dels models es va utilitzar la mitjana del percentatge d'error del model, és a dir el MAPE per a la mostra i fora de la mostra (Novembre).

L'especificació general del model es pot resumir en la següent equació:

$$y_t = \alpha + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 Idia + \beta_3 Ihora + \gamma Festiu + \phi \Delta y_{t1-5} + \varepsilon_t$$

On,

y_t : és la variable dependent que correspon a l'ocupació pagada als parquímetres i l'app mòbil en el moment t .

y_{t-1} : indica la ocupació pagada d'igual hora del dia anterior.

Δy_{t1-5} : Indica el diferencial de l'ocupació pagada respecte el mateix dia i hora de la setmana anterior.

β_1 y φ indiquen el coeficient d'impacte de y_{t-1} y Δy_{t1-5} respectivament en l'ocupació pagada en el moment t.

Respecte les variables explicatives:

Idia: és un factor que indica el dia de la setmana que correspon a l'ocupació.

Ihora: factor que indica l'hora del dia corresponent.

Festiu: factor que indica si és festiu o va ser-ho el dia anterior.

β_2 , β_3 y γ són coeficients que fan referència a la importància que tenen les seves respectives variables dependents.

ε_t : representa el terme de l'error.

4.3.2 Model d'ocupació real

Atès que la fi última és poder predir l'ocupació real i no l'ocupació pagada, es va estimar l'ocupació real com a funció de l'ocupació pagada.

De forma que: $Ocupació\ Real = f(Ocupació\ pagada, Tram)$

Per calibrar el model es van utilitzar dades d'ocupació real cada 5 minuts. D'aquesta manera es va estimar un model de l'ocupació real sobre la base de l'ocupació pagada prèviament estimada.

A diferència del model d'ocupació pagada pel qual es compta amb informació diària, el model d'ocupació real solament s'estima amb dades de recompte manual per a un moment del temps i fins que no es comptin amb noves dades no es pot tornar a estimar.

Per tant, la finestra temporal queda determinada pels mesos amb els quals s'explica informació de recompte manual, en aquest cas en particular les dades corresponen amb juny, juliol, octubre i novembre.

Finalment el model es pot definir amb la següent equació:

$$y_{ORt} = \alpha + \beta_1 y_{OPt} + \beta_2 I_{hora} + \beta_3 I_{tram} + \varepsilon_t$$

On,

y_{ORt} : representa l'ocupació real del tram d'estacionament mitjançant comptatge manual.

y_{OPt} : indica la ocupació pagada en el moment t .

$lhora$: és una variable que indica la franja horària a la que correspon la dada.

$ltram$: indica el tram al que correspon la dada del comptatge.

$Festiu$: factor que indica si és festiu o va ser-ho el dia anterior.

β_1, β_2 y β_3 representen l'impacte de les seves corresponents variables en l'ocupació real dels trams d'estacionament.

ε_t : representa el terme de l'error.

4.4 SEMAFORITZACIÓ

El model de predicció SIU dona com a Output final l'ocupació en tant per cent de tots els trams de l'Àrea Blava de Barcelona per cada interval de temps de 5 min.

Però aquest output no es mostra de forma numèrica a l'usuari sinó que la informació de sortida es mostra a l'usuari com una escala semafòrica de colors. Aquests, estan associats a uns intervals d'ocupació dels trams, vermell fa referència a l'interval d'ocupació més elevat, taronja al intermedi i verd al interval amb l'ocupació més baixa.

La definició d'una escala semafòrica acaba derivant en una agrupació de resultats de forma que primer es tracta la informació per a que posteriorment, quan l'usuari la rebí pugui prendre una decisió de forma senzilla. D'aquesta manera s'evita que sigui l'usuari qui tracti la informació de forma errònia, ja que la percepció dels tants per cent d'ocupació poden ser molt diversos en funció de la persona qui rep la informació.

Els principals criteris que s'han tingut en compte a l'hora d'establir els tres rangs d'ocupació, tenen a veure amb la ponderació del resultat del model, l'Output d'ocupació, amb la longitud del tram i el nombre de places que conté i finalment amb la generació d'expectativa d'aparcament.

Com es pot veure a la Figura 13, la taula de criteris de semaforització mostra el color de sortida del tram en funció de l'ocupació del mateix (eix d'ordenades) i el nombre de places (eix de coordenades).

El valor de les cel·les representa el número de places lliures que es pot donar en un tram en funció de l'ocupació predita i es calcula de la següent forma:

$$P(\text{plaça lliure}) = \text{Número de places} - \text{Núm de places} * \% \text{ d'ocupació predit}$$

D'aquesta forma la predicció de places lliures en un tram, és igual al número de places que conté el tram menys l'ocupació del tram que ha predit el model pel nombre de places del mateix. Per tant, aquest intervals no són estàtics, sinó que varien en funció de les places i l'ocupació assignats a cada tram.

places/tram	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
% ocupació																								
50%	0,50	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	11	11,5	12
51%	0,5	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	3,92	4,4	4,9	5,39	5,88	6,37	6,86	7,4	7,84	8,33	8,8	9,31	9,8	10	10,8	11,3	11,8
52%	0,5	0,96	1,44	1,92	2,4	2,88	3,36	3,84	4,3	4,8	5,28	5,76	6,24	6,72	7,2	7,68	8,16	8,6	9,12	9,6	10	10,6	11	11,5
53%	0,5	0,94	1,41	1,88	2,35	2,82	3,29	3,76	4,2	4,7	5,17	5,64	6,11	6,58	7,1	7,52	7,99	8,5	8,93	9,4	9,9	10,3	10,8	11,3
54%	0,5	0,92	1,38	1,84	2,3	2,76	3,22	3,68	4,1	4,6	5,06	5,52	5,98	6,44	6,9	7,36	7,82	8,3	8,74	9,2	9,7	10,1	10,6	11
55%	0,5	0,9	1,35	1,8	2,25	2,7	3,15	3,6	4,1	4,5	4,95	5,4	5,85	6,3	6,8	7,2	7,65	8,1	8,55	9	9,5	9,9	10,4	10,8
56%	0,4	0,88	1,32	1,76	2,2	2,64	3,08	3,52	4	4,4	4,84	5,28	5,72	6,16	6,6	7,04	7,48	7,9	8,36	8,8	9,2	9,68	10,1	10,6
57%	0,4	0,86	1,29	1,72	2,15	2,58	3,01	3,44	3,9	4,3	4,73	5,16	5,59	6,02	6,5	6,88	7,31	7,7	8,17	8,6	9	9,46	9,89	10,3
58%	0,4	0,84	1,26	1,68	2,1	2,52	2,94	3,36	3,8	4,2	4,62	5,04	5,46	5,88	6,3	6,72	7,14	7,6	7,98	8,4	8,8	9,24	9,66	10,1
59%	0,4	0,82	1,23	1,64	2,05	2,46	2,87	3,28	3,7	4,1	4,51	4,92	5,33	5,74	6,2	6,56	6,97	7,4	7,79	8,2	8,6	9,02	9,43	9,84
60%	0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,4	6,8	7,2	7,6	8	8,4	8,8	9,2	9,6
61%	0,4	0,78	1,17	1,56	1,95	2,34	2,73	3,12	3,5	3,9	4,29	4,68	5,07	5,46	5,9	6,24	6,63	7	7,41	7,8	8,2	8,58	8,97	9,36
62%	0,4	0,76	1,14	1,52	1,9	2,28	2,66	3,04	3,4	3,8	4,18	4,56	4,94	5,32	5,7	6,08	6,46	6,8	7,22	7,6	8	8,36	8,74	9,12
63%	0,4	0,74	1,11	1,48	1,85	2,22	2,59	2,96	3,3	3,7	4,07	4,44	4,81	5,18	5,6	5,92	6,29	6,7	7,03	7,4	7,8	8,14	8,51	8,88
64%	0,4	0,72	1,08	1,44	1,8	2,16	2,52	2,88	3,2	3,6	3,96	4,32	4,68	5,04	5,4	5,76	6,12	6,5	6,84	7,2	7,6	7,92	8,28	8,64
65%	0,4	0,7	1,05	1,4	1,75	2,1	2,45	2,8	3,2	3,5	3,85	4,2	4,55	4,9	5,3	5,6	5,95	6,3	6,65	7	7,4	7,7	8,05	8,4
66%	0,3	0,68	1,02	1,36	1,7	2,04	2,38	2,72	3,1	3,4	3,74	4,08	4,42	4,76	5,1	5,44	5,78	6,1	6,46	6,8	7,1	7,48	7,82	8,16
67%	0,3	0,66	0,99	1,32	1,65	1,98	2,31	2,64	3	3,3	3,63	3,96	4,29	4,62	5	5,28	5,61	5,9	6,27	6,6	6,9	7,26	7,59	7,92
68%	0,3	0,64	0,96	1,28	1,6	1,92	2,24	2,56	2,9	3,2	3,52	3,84	4,16	4,48	4,8	5,12	5,44	5,8	6,08	6,4	6,7	7,04	7,36	7,68
69%	0,3	0,62	0,93	1,24	1,55	1,86	2,17	2,48	2,8	3,1	3,41	3,72	4,03	4,34	4,7	4,96	5,27	5,6	5,89	6,2	6,5	6,82	7,13	7,44
70%	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6	6,3	6,6	6,9	7,2
71%	0,3	0,58	0,87	1,16	1,45	1,74	2,03	2,32	2,6	2,9	3,19	3,48	3,77	4,06	4,4	4,64	4,93	5,2	5,51	5,8	6,1	6,38	6,67	6,96
72%	0,3	0,56	0,84	1,12	1,4	1,68	1,96	2,24	2,5	2,8	3,08	3,36	3,64	3,92	4,2	4,48	4,76	5	5,32	5,6	5,9	6,16	6,44	6,72
73%	0,3	0,54	0,81	1,08	1,35	1,62	1,89	2,16	2,4	2,7	2,97	3,24	3,51	3,78	4,1	4,32	4,59	4,9	5,13	5,4	5,7	5,94	6,21	6,48
74%	0,3	0,52	0,78	1,04	1,3	1,56	1,82	2,08	2,3	2,6	2,86	3,12	3,38	3,64	3,9	4,16	4,42	4,7	4,94	5,2	5,5	5,72	5,98	6,24
75%	0,3	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,3	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,8	4	4,25	4,5	4,75	5	5,3	5,5	5,75	6
76%	0,2	0,48	0,72	0,96	1,2	1,44	1,68	1,92	2,2	2,4	2,64	2,88	3,12	3,36	3,6	3,84	4,08	4,3	4,56	4,8	5	5,28	5,52	5,76
77%	0,2	0,46	0,69	0,92	1,15	1,38	1,61	1,84	2,1	2,3	2,53	2,76	2,99	3,22	3,5	3,68	3,91	4,1	4,37	4,6	4,8	5,06	5,29	5,52
78%	0,2	0,44	0,66	0,88	1,1	1,32	1,54	1,76	2	2,2	2,42	2,64	2,86	3,08	3,3	3,52	3,74	4	4,18	4,4	4,6	4,84	5,06	5,28
79%	0,2	0,42	0,63	0,84	1,05	1,26	1,47	1,68	1,9	2,1	2,31	2,52	2,73	2,94	3,2	3,36	3,57	3,8	3,99	4,2	4,4	4,62	4,83	5,04
80%	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2	4,4	4,6	4,8
81%	0,2	0,38	0,57	0,76	0,95	1,14	1,33	1,52	1,7	1,9	2,09	2,28	2,47	2,66	2,9	3,04	3,23	3,4	3,61	3,8	4	4,18	4,37	4,56
82%	0,2	0,36	0,54	0,72	0,9	1,08	1,26	1,44	1,6	1,8	1,98	2,16	2,34	2,52	2,7	2,88	3,06	3,2	3,42	3,6	3,8	3,96	4,14	4,32
83%	0,2	0,34	0,51	0,68	0,85	1,02	1,19	1,36	1,5	1,7	1,87	2,04	2,21	2,38	2,6	2,72	2,89	3,1	3,23	3,4	3,6	3,74	3,91	4,08
84%	0,2	0,32	0,48	0,64	0,8	0,96	1,12	1,28	1,4	1,6	1,76	1,92	2,08	2,24	2,4	2,56	2,72	2,9	3,04	3,2	3,4	3,52	3,68	3,84
85%	0,2	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,4	1,5	1,65	1,8	1,95	2,1	2,3	2,4	2,55	2,7	2,85	3	3,2	3,3	3,45	3,6
86%	0,1	0,28	0,42	0,56	0,7	0,84	0,98	1,12	1,3	1,4	1,54	1,68	1,82	1,96	2,1	2,24	2,38	2,5	2,66	2,8	2,9	3,08	3,22	3,36
87%	0,1	0,26	0,39	0,52	0,65	0,78	0,91	1,04	1,2	1,3	1,43	1,56	1,69	1,82	2	2,08	2,21	2,3	2,47	2,6	2,7	2,86	2,99	3,12
88%	0,1	0,24	0,36	0,48	0,6	0,72	0,84	0,96	1,1	1,2	1,32	1,44	1,56	1,68	1,8	1,92	2,04	2,2	2,28	2,4	2,5	2,64	2,76	2,88
89%	0,1	0,22	0,33	0,44	0,55	0,66	0,77	0,88	1	1,1	1,21	1,32	1,43	1,54	1,7	1,76	1,87	2	2,09	2,2	2,3	2,42	2,53	2,64
90%	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
91%	0,1	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,8	0,9	0,99	1,08	1,17	1,26	1,4	1,44	1,53	1,6	1,71	1,8	1,9	1,98	2,07	2,16
92%	0,1	0,16	0,24	0,32	0,4	0,48	0,56	0,64	0,7	0,8	0,88	0,96	1,04	1,12	1,2	1,28	1,36	1,4	1,52	1,6	1,7	1,76	1,84	1,92
93%	0,1	0,14	0,21	0,28	0,35	0,42	0,49	0,56	0,6	0,7	0,77	0,84	0,91	0,98	1,1	1,12	1,19	1,3	1,33	1,4	1,5	1,54	1,61	1,68
94%	0,1	0,12	0,18	0,24	0,3	0,36	0,42	0,48	0,5	0,6	0,66	0,72	0,78	0,84	0,9	0,96	1,02	1,1	1,14	1,2	1,3	1,32	1,38	1,44
95%	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,8	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,1	1,1	1,15	1,2
96%	0	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32	0,4	0,4	0,44	0,48	0,52	0,56	0,6	0,64	0,68	0,7	0,76	0,8	0,8	0,88	0,92	0,96
97%	0	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,3	0,3	0,33	0,36	0,39	0,42	0,5	0,48	0,51	0,5	0,57	0,6	0,6	0,66	0,69	0,72
98%	0	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,2	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,32	0,34	0,4	0,38	0,4	0,4	0,44	0,46	0,48
99%	0	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,2	0,16	0,17	0,2	0,19	0,2	0,2	0,22	0,23	0,24
100%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 13: Semaforització: Taula de criteris.

Com es pot observar a la figura anterior, els trams que tenen menys de 10 places d'estacionament tenen llindars vermells (molt ocupats) més grans que els trams que tenen un conjunt de més de 10 places d'estacionament.

Per una altra banda, quan s'arriba a una mostra de tram de 10 o més places, els intervals d'assignació de colors s'estabilitzen en els següents llindars:

- Verd: 0 a 80% d'ocupació del tram.
- Taronja: 80 a 90% d'ocupació del tram.
- Vermell: 90 a 100% d'ocupació del tram.

4.5 RESTRICCIONS

El sistema proposat no és un sistema inequívoc, es basa en aproximacions estadístiques obtingudes a través de les dades de pagament, és per això que s'han de tenir en compte les següents restriccions de model:

- Es podran obtenir ocupacions únicament dels trams i zones que estiguin regulades.
- Únicament s'obtindran dades durant l'horari de pagament.
- Degut a que s'han de realitzar estimacions per a definir la dada d'ocupació real, inicialment el model es basarà en donar tres nivells d'ocupació. L'afinat final del model ens permetrà validar els nivells d'ocupació o descartar, per baixa fiabilitat, el mètode proposat.
- Degut a que només s'utilitza com a dada característica de la zona el pagament, es definirà com a indicador final la ocupació amb l'objectiu de presentar amb una escala de colors les opcions de poder estacionar.
- Degut a la metodologia proposada, aquest sistema requerirà de manteniment i monitorització per a mesurar contínuament la fiabilitat i la seva utilitat.
- Tot i que la validació del model es basarà en una fiabilitat comptada per places lliures estimades en un moment concret per a cada tram, es necessari clarificar que el resultat final del sistema serà una estimació de la ocupació basada en un interval probabilístic i presentada a l'usuari en forma semafòrica, com es pot veure en el següent gràfic:

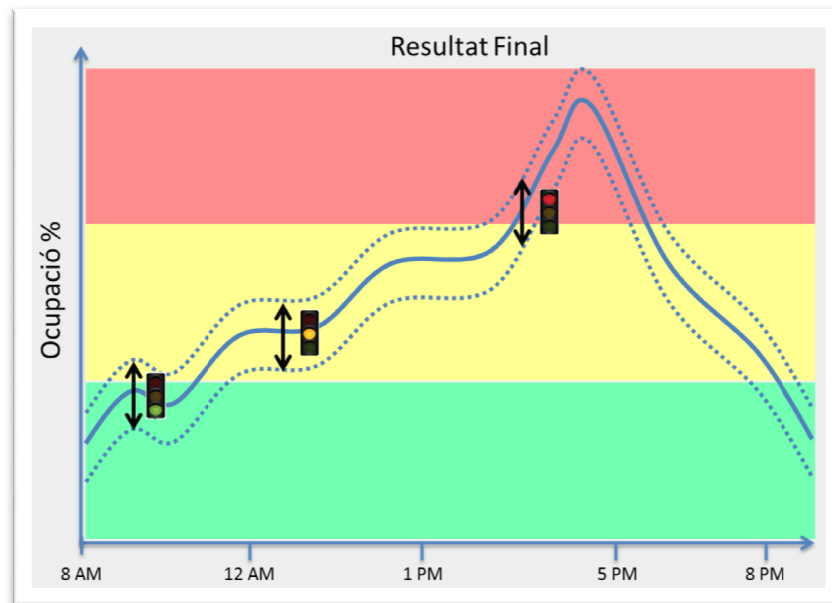


Figura 14: Resultat semafòric final/ % d'ocupació.

Com és observable en el semàfor groc, ens trobem en una situació òptima donat que tot l'interval de confiança es troba en un segment d'informació a l'usuari, per tant és possible assegurar que l'estat d'ocupació del tram o zona en qüestió es troba tot el percentatge de confiança en nivell groc. En els semàfors verd i vermell ens trobem en situacions en les que les probabilitats de verd i vermell no són plenes, havent-hi un punt crític, en el creuament dels segments d'informació en els que només la meitat de l'interval de confiança es troba en un segment d'informació. Aquests seran els punts més importants a estudiar donat que a nivell d'usuari són els crítics podent ser entesos com un error del sistema.

5. MODEL TRAM-PARQUÍMETRE

5.1 INTRODUCCIÓ

5.1.1 Introducció

Com s’havia introduït a l’apartat 3.2.3, un punt important en l’avaluació de les dades de pagament es tracta en conèixer quina és l’ocupació de cada tram de l’Àrea blava en funció dels pagaments que es fan als diferents parquímetres.

Això permet l’assignació de tiquets a trams i consegüentment l’assignació de les ocupacions pagades per tram. Aquest serà l’input principal del model predictiu d’estacionament i d’aquí la importància de que aquesta assignació sigui el més precís possible.

Aquesta relació entre trams i parquímetres no és trivial, donat que existeix una estreta relació entre trams que fa que l’assignació de parquímetre a tram no sigui directa i per tant s’hagi d’equilibrar per zona.

La necessitat de realitzar un model que automatitzi aquest procés ve donada per dos motius principals:

- L’abast del model. El model predictiu d’informació SIU pretén donar informació a tota la ciutat de Barcelona. Si tenim en compte el nombre de trams i parquímetres de que es disposen, una assignació de trams i parquímetres manual resultaria una feina amb un cost bastant elevat en relació a la mà d’obra qualificada necessària.
- Dinamisme de les assignacions en el temps. Com s’explicava anteriorment les assignacions no es mantenen fixes en l’espai temporal, és a dir, existeixen canvis en els inputs que fan variar aquestes assignacions i per tant les dades d’entrada del model predictiu. Alguns d’aquest canvis són deguts a la reducció de places de tram degut a una obra en la via pública, una poda d’arbres, la no funcionalitat d’un parquímetre per avaria etc...

Per tant, es vol crear un model matemàtic que assigni a cada tram els parquímetres més favorables, ponderant segons diferents criteris quina part de l’ocupació dels parquímetres correspon a cada tram.

5.1.2 Definició del model

El model matemàtic seleccionat per realitzar l'assignació tram-parquímetre és el model gravitacional, un model molt utilitzat al llarg del temps en la modelització de transports.

El model gravitacional va ser formulat per analogia amb la llei de gravitació universal de Newton: *"dos cossos s'atreuen en raó directa a la seva massa i en raó inversa a la distància que els separa"*.

Aquest model aplicat a la teoria de transports explica que *"la distribució de viatges en un mode de transport, és a dir, la quantitat de viatges entre un origen i una destinació determinades és proporcional a l'atracció de cada zona de destinació, i inversament proporcional al cost generalitzat de transport entre les dues zones"* **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Si s'aplica aquesta teoria al cas de la relació entre trams i parquímetres es pot establir una analogia entre: parquímetre com a destí i cost generalitzat com els inconvenients o obstacles que per l'usuari pot suposar escollir anar a pagar a un parquímetre o a un altre.

Per tant, el model es basarà en un model gravitacional on la decisió del destí o parquímetre escollit per l'usuari serà inversament proporcional a la distància que separa l'origen del destí, tram i parquímetre. Aquesta decisió, a més, estarà condicionada per uns costos de viatge que en el cas estudiat es basaran en penalitzacions degudes a barreres o obstacles que l'usuari pot trobar en un viatge.

Un cop estudiada l'analogia entre els casos més purs de la teoria de transport i les relacions que es donen entre trams i parquímetres en relació a la distribució d'ingressos, es dissenya l'arquitectura del procés per a l'obtenció del model d'assignació tram-parquímetre.



En primer lloc es crea una taula creuada on es relacionen tots els trams amb els diferents parquímetres de Barcelona. D'aquesta forma es cobreixen totes les possibilitats de que l'ocupació d'un tram es pugui pagar a qualsevol parquímetre de la ciutat.

Un cop obtinguda aquesta taula creuada, s'apliquen diferents criteris o hipòtesis que fan que algunes d'aquestes relacions entre trams i parquímetres s'eliminin i altres

relacions es redueixin degut a les condicions o obstacles que l'usuari es pot trobar. D'aquesta manera, només queden actives les relacions més favorables o possibles.

Seguidament, es procedeix a realitzar una assignació de trams a parquímetres. És a dir, es prediu a quin o quins parquímetres farà el pagament, amb una certa probabilitat, l'usuari que ocupa una plaça d'estacionament de l'Àrea Blava en tant per cent.

Finalment i per acabar el procés, un cop s'obtenen totes les assignacions dels trams, es realitza el procés invers assignant els pagaments dels diferents parquímetres als trams corresponents en probabilitat i en funció de les places de que disposa cada tram.

5.2 CARACTERITZACIÓ DEL MODEL

5.2.1 Hipòtesis

Per realitzar una assignació adequada es consideraran dos tipus d'hipòtesis; les hipòtesis discriminatòries de relació i les reductores de relació.

Aquestes hipòtesis o criteris permetran obtenir una sèrie de relacions possibles o favorables entre trams i parquímetres per després procedir a les assignacions.

Les primeres hauran de complir-se necessàriament per a que es doni una relació entre un tram i un parquímetre mentre que les segones, reductores de relació, reduiran la magnitud de la relació entre els mateixos en cas de que la hipòtesis no es complís, però no l'eliminen.

5.2.1.1 Hipòtesis discriminatòries de relació

Les hipòtesis de relació, són tots aquest criteris que es considera que limiten a l'usuari a l'hora de realitzar un pagament en un parquímetre donat.

Distància

L'usuari que utilitzi la zona blava a un tram concret de la ciutat, farà el seu pagament a un parquímetre que estigui a una distància no superior a una distància establerta al model (un cas podria ser 100m). En cap cas, l'usuari, recorrerà una distància superior a la indicada per realitzar el pagament.

Aquesta distància serà un paràmetre del model que es podrà variar en funció de la zona en que es trobi el tram i el parquímetre i les seves necessitats.

Visibilitat

Es consideraran possibles parquímetres favorables, on es podria realitzar el pagament, tots aquells que siguin visibles per l'usuari des de el punt en que es troba al realitzar l'estacionament.

Es pot veure aquest criteri en el següent esquema, on es representen sis illes de Barcelona. Un usuari que estaciona al tram 1 veurà tots els parquímetres que es trobin sota l'àrea ombrejada en color verd, però no els altres. Per exemple, en aquest cas, l'usuari tindrà visibilitat amb els parquímetres número 56 y 27 però no tindrà visibilitat amb el parquímetre 23.

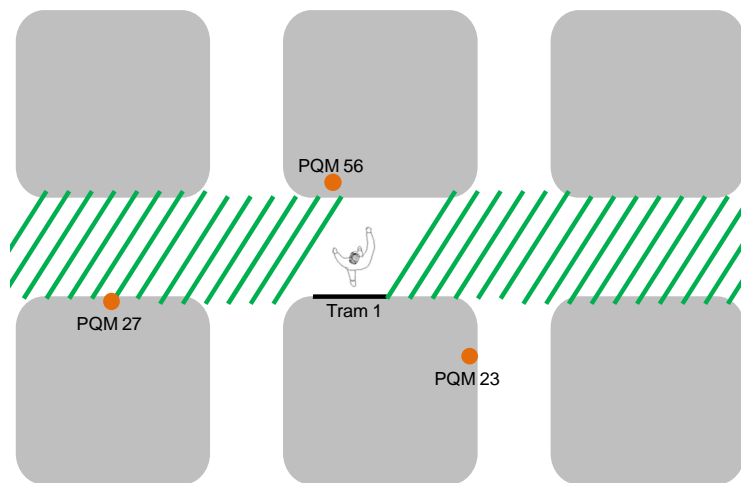


Figura 15: Hipòtesi de visibilitat.

Barreres arquitectòniques

Es considera que l'usuari no farà un pagament a un parquímetre de forma que per realitzar el pagament es vegi obligat a travessar una barrera arquitectònica, i per tant realitzarà l'operació en un altre parquímetre encara que aquest estigui més lluny.

Es defineixen barreres arquitectòniques aquells carrers/vies/estructures que divideixen una zona de la ciutat i que suposen un esforç per l'usuari travessar-les.

El model considerarà les següents barreres:

- Rondes. Amb un total de 24,1 km (1,89% del total del viari). Algunes d'aquestes són:
 - Ronda de Dalt
 - Ronda Litoral
 - Ronda del Mig,
 - Ronda de General Mitre

- Vies d'accés. Les vies d'accés estan conformades per 13 carrers, tenen un total de 43,4 km (3,4% del total viari).
 - Gran Via de les Corts Catalanes
 - Avinguda Meridiana
 - Avinguda del Paral·lel
 - Avinguda Diagonal
- Estructures. Com túnels (Túnel de la Rovira) i altres grans estructures de la ciutat.

Configuració de tarifa de tram i parquímetre

Finalment, l'usuari no realitzarà un pagament a un parquímetre que no accepti la tarifa de la zona en la qual ha estacionat el seu vehicle.

Aquesta hipòtesi fa referència a la tarifa de zona blava i zona verda, degut a que existeixen alguns parquímetres que poden acceptar ambdós tipologies o només una d'elles i per tant s'ha de tenir en compte a l'hora de realitzar l'assignació.

5.2.1.2 Hipòtesis reductores de relació

Com s'explicava anteriorment, aquest segon tipus d'hipòtesi no eliminen relació. És a dir, en cas de que un tram i un parquímetre no compleixin algun d'aquests criteris la probabilitat de realitzar una operació des d'aquest tram al parquímetre es redueix però no s'elimina. Es considera per tant que aquests fenòmens que ara es descriuran no són tant limitadors com els criteris discriminators de relació.

Les hipòtesis reductores de relació es basen en el fenomen de creuar un carrer. Es considera que un usuari de l'Àrea Blava realitzarà el seu pagament, preferiblement, en un parquímetre en el qual no hagi de creuar un carrer per dur a terme l'operació.

Dintre d'aquesta mateixa hipòtesi es discriminaran dos casos, el cas en que es creua un mateix carrer de forma perpendicular al mateix (Creuar carrer), i el cas en que es creua el carrer de forma longitudinal a aquest (Creuar illa).

Aquest concepte s'explica amb el següent esquema, on es mostra un seguit de sis illes de la ciutat de Barcelona i les dos tipologies de la hipòtesi descrita anteriorment.

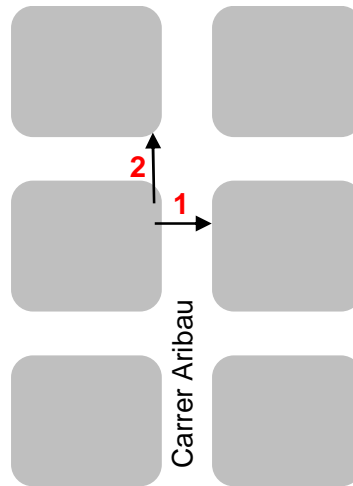


Figura 16: Esquema de les hipòtesis reductores de relació.

A la Figura 3 es veu la diferència entre la tipologia de creuar carrer (1) i creuar illa (2). Ambdós operacions suposen creuar un carrer però a l'hora d'implantar-ho al model es veurà la necessitat de tractar-les de forma diferenciada.

Creuar carrer

Es considera que un usuari farà preferiblement un pagament a un parquímetre en el qual no hagi de creuar un carrer per arribar-hi des de la plaça on ha estacionat el seu vehicle.

Creuar illa

De la mateixa forma que en la hipòtesi anterior, el model considerarà que l'usuari realitzarà el pagament preferiblement a un parquímetre que estigui a la mateixa illa que el tram on ha estacionat.

5.2.2 Metodologia

5.2.2.1 Fase 1: Definició i Introducció dels Inputs

La primera fase del model consistirà en la introducció dels inputs al model matemàtic.

Aquesta informació s'extraurà de la base de dades de pagament de l'Àrea blava i serà introduïda al model per tal de ser analitzada en les següents fases.

Els inputs que el model té en compte es descriuen en l'apartat **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

5.2.2.2 Fase 2: Aplicació de les hipòtesis de creuament

En aquesta fase s'analitzen els possibles parquímetres favorables per a cada tram. En funció de les hipòtesis descrites anteriorment, primer es discriminaran els

parquímetres que poden ser candidats a pagament o no per part de l'usuari mitjançant les hipòtesis discriminatòries de relació.

En cas de que la relació tram-parquímetre no compleixi alguna de les hipòtesis discriminatòries, aquest parquímetre es descartarà per aquest tram en concret.

En segon lloc, un cop es tenen les relacions favorables entre trams i parquímetres, es reduiran aquelles relacions que no compleixin les hipòtesis de reducció (0, 0).

El procés es seguirà de la següent manera:

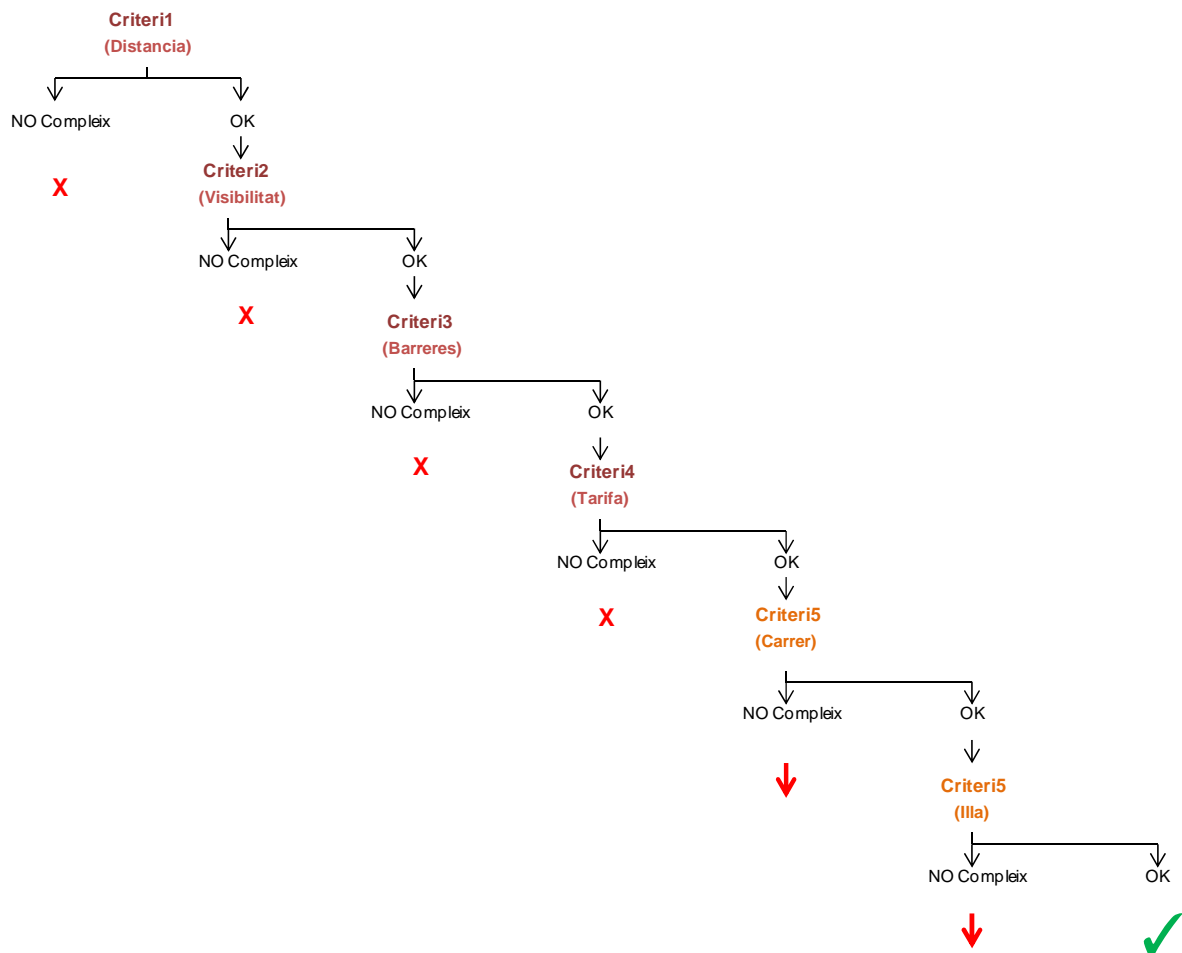


Figura 17: Metodologia del procés d'assignació tram parquímetre

Per tant, en aquesta fase s'obtindrà un conjunt de parquímetres favorables per a cada tram on l'usuari de l'Àrea blava podria fer el seu pagament.

Els criteris esmentats es descriuen en l'apartat 5.3.

5.2.2.3 Fase 3: Assignacions

Un cop obtingudes les relacions possibles entre trams i parquímetres es procedeix a realitzar el procés per a l'obtenció de les assignacions seguint el següent esquema:

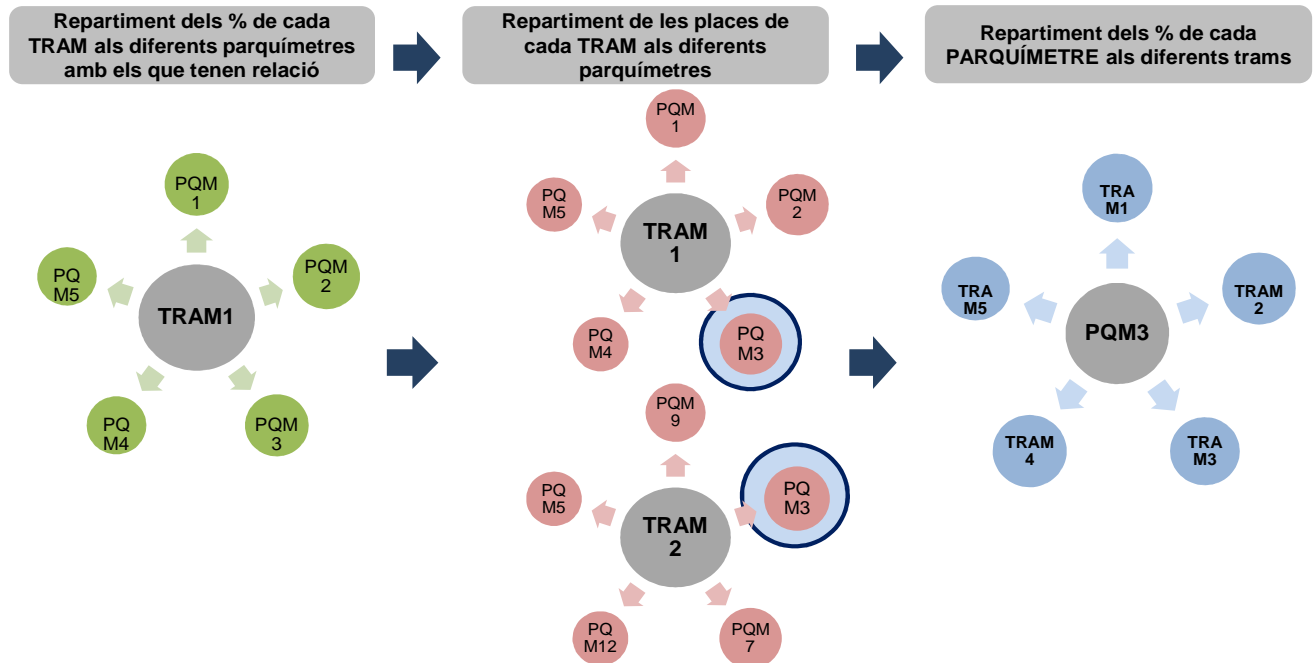


Figura 18: Procés del repartiment en tant per cent de les relacions tram-parquímetre.

En una primera fase es reparteixen els pesos dels trams als diferents parquímetres de forma inversament proporcional a la distància que els separa. De forma que un tram repartirà el seu total d'ingressos pels diferents parquímetres pels qui es vegi afectat.

Seguidament, un cop es reparteixen els pesos dels trams als parquímetres, es procedeix a transformar aquesta dada en nombre de places. Com s'havia explicat anteriorment, un tram està format per un seguit de places i per tant els pesos als parquímetres no son equivalents si els trams no tenen el mateix nombre de places. Per aquest motiu, en comptes de repartir aquest pesos en percentatges passem a assignar-ho en número de places que pagaran al parquímetre ja que aquesta unitat si és equivalent per tots els casos.

Finalment, en aquest punt del procés, es coneix el número de places d'un tram que paga a cada parquímetre. Per tant, per finalitzar i obtenir la relació entre trams i parquímetres, es realitza l'exercici invers, s'assignen pesos de parquímetres a trams en funció de les places totals que havien pagat al mateix

A més, s'hauran de tenir en compte la següent condició:

- Igualtat d'ocupació per trams amb dos o més parquímetres a la mateixa distància. És a dir, un tram que tingui igual pes a dos o més parquímetres haurà d'obtenir ocupacions iguals dels mateixos.

D'acord amb aquesta condició descrita, en el model s'ha suposat que el comportament de l'ocupació en parquímetres propers serà molt similar i per tant es dona per satisfeta la condició.

5.2.2.4 Fase 4: Outputs

Un cop establerta aquesta relació de repartiment, les assignacions del parquímetres als trams es donaran com un valor en tant per cent.

Com s'ha explicat anteriorment, aquest output serà un dels inputs del model global de predicció d'ocupació de places d'estacionament en calçada.

5.2.3 Dades d'entrada i sortida

El model d'assignació tram parquímetre es fonamenta en una base de dades històriques de pagaments de l'Àrea blava que serviran com a inputs del model matemàtic.

Els inputs que es tractaran són els següents:

- Tram
 - ID tram: codi identificador de cada tram.
 - Posició geogràfica en coordenades (X,Y): posició geogràfica en coordenades rectangulars.
 - ID del carrer: codi identificador de carrer.
 - Número de carrer: número de carrer en que es troba el tram.
 - ID d'illa: codi identificador d'illa.
 - ID barrera arquitectònica: identificador de barrera arquitectònica.
 - ID configuració de tarifa: identificador de tarifa de pagament.
 - Número de places que conté: número de places que conté el tram.
- Parquímetre
 - ID parquímetre: codi identificador de parquímetre.
 - Posició geogràfica en coordenades (X,Y): posició geogràfica en coordenades rectangulars.
 - ID carrer: codi identificador de carrer.

- Número de carrer: número de carrer en que es troba el tram.
 - ID carrer cantonada: identificador del carrer amb que fa cantonada, en cas de estar en un xamfrà.
 - ID d'illa: codi identificador d'illa.
 - ID barrera arquitectònica: identificador de barrera arquitectònica.
 - ID configuració de tarifa: identificador de tarifa de pagament.
- Outputs: L'output del model serà la relació tram parquímetre en tant per cent. Aquesta relació s'introduirà al model predictiu com a input per poder transformar els pagaments dels parquímetres en ocupació de trams.

5.3 DESCRIPCIÓ DE CRITERIS

5.3.1 Distància

Es discriminaran tots els parquímetres que es trobin a més de X metres d'un tram en concret. Aquest valor “X” s'ajustarà amb l'objectiu d'obtenir una assignació el més ajustada possible. Un primer valor, podria ser 100m.

La coordenada tram es prendrà com el punt mig del mateix i la distància entre un tram i un parquímetre serà calculada com la línia recta entre els dos.

5.3.2 Visibilitat

El criteri utilitzat per conèixer la visibilitat dels parquímetres no resulta senzill, ja que com a inputs només es coneixen les coordenades geogràfiques dels trams i parquímetres i els noms dels carrers, per tant no podem conèixer a priori si entre un tram-parquímetre es troba un edifici que impedeix la visibilitat o no. Per tant es realitzarà la següent suposició:

Existeix visibilitat entre un tram i un parquímetre si existeix una coincidència en el identificador del carrer ID_CARRER. És a dir, si un tram està ubicat al mateix carrer que un parquímetre existirà visibilitat entre els dos. En el cas contrari, es discrimina la relació.

Els parquímetres que es trobin en una cantonada o xamfrà estaran identificats amb dos identificadors de carrer de forma que si algun d'aquests noms coincideix amb el nom del tram, es suposarà que existeix visibilitat entre els dos.

5.3.3 Barreres arquitectòniques

Les barreres arquitectòniques s'introduiran al model com un altre Input amb un identificador de tipus numèric (per exemple: 0=no hi ha barrera; 1=via principal...) associat a cada tram i parquímetre en cas que existís. Per tant si el tram i parquímetre analitzat tenen coincidència d'aquest ID, i l'atribut de paritat numèrica (parell / imparell) no coincideixen (voldrà dir que l'usuari hauria de creuar una barrera arquitectònica) s'eliminarà la relació del tram i el parquímetre corresponent.

Es pot veure la descripció del criteri en la següent figura:

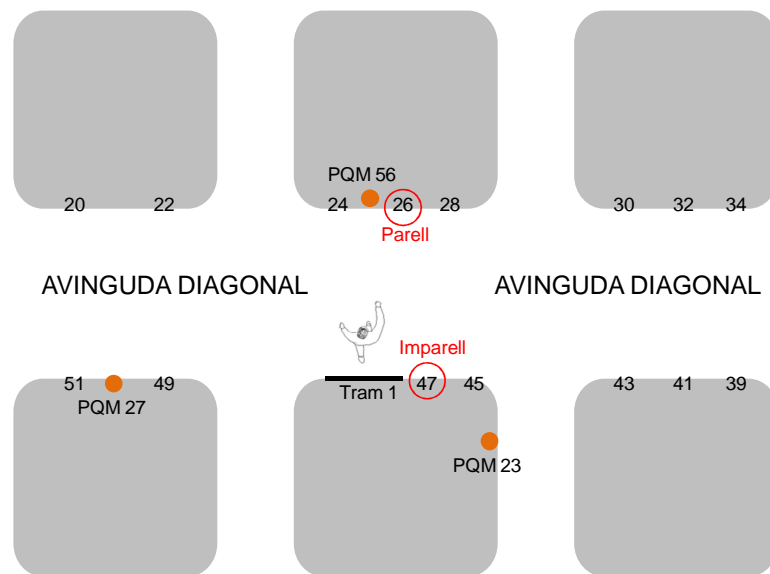


Figura 19: Descripció del criteri de barrera arquitectònica.

En el cas descrit a la *Figura 6* es pot veure un usuari d'un tram situat a l'Avinguda Diagonal de Barcelona. Al ser una via d'accés aquest carrer tindrà assignat un codi de barrera arquitectònica i tots els trams i parquímetres que estiguin situats al carrer també.

Si el criteri eliminés la relació entre trams i parquímetres només si existís una coincidència de ID de barrera, es cometria l'error dels casos en que parquímetre i tram es troben al mateix carrer barrera però no es creua. Per aquest motiu, també s'analitza el número de carrer.

L'usuari del tram 1 podrà realitzar l'operació en el parquímetre 27, encara que tinguin codi de ID_BARRERA igual, ja que el número de carrer és imparell pels dos i això voldrà dir que no creuarà la barrera per fer el pagament.

Per una altra banda en el cas del parquímetre 56, com el números de carrers assignats a tram i parquímetre són imparell i parell respectivament, el model assumeix que es creua la barrera i per tant elimina la relació entre els dos.

5.3.4 Tarifa de tram i parquímetre

Es considerarà que un tram pot pagar en un parquímetre si existeix coincidència en el camp de configuració tarifaria associat a cada tram i parquímetre.

En cas que aquesta relació de coincidència no es donés, la relació del tram i el parquímetre corresponents quedaria eliminada.

5.3.5 Creuar carrer

Un usuari creuarà un carrer quan l'atribut de paritat numèrica (parell / imparell) del carrer associat al tram i al parquímetre no siguin iguals. És a dir, si el tram i el parquímetre tenen el mateix atribut esmenat, el model entendre que ambdós (tram i parquímetre) es troben a la mateixa vorera del carrer.

Si no es dona aquesta coincidència, el tram i el parquímetre es troben a diferents voreres d'un mateix carrer, la relació entre els mateixos es reduirà. Aquesta reducció es realitzarà aplicant a la distància que els separa un coeficient multiplicador, de forma que s'augmenti la distància entre tram i parquímetre "X" cops.

5.3.6 Creuar illa

Es considera que un usuari creua una illa en el moment en que el ID d'illa associat a un tram i un parquímetre no coincideixen.

Existeixen algunes excepcions en que no es té ID d'illa, és el cas d'alguns parcs o zones sense illes d'habitatges. Per poder implementar la hipòtesi de creuar illa, identificarem aquest camp amb un ID_illa diferent, per exemple "altres".

5.4 RESTRICCIONS

El model d'assignació tram-parquímetre pretén establir relacions entre places d'aparcament i destins de pagament mitjançant la predicció del comportament dels usuaris de l'Àrea Blava en funció de diferents criteris que neixen de la experiència del servei.

Les restriccions del model es basen en:

- Validació del model: degut a la naturalesa del output de sortida, la validació dels resultats resulta un exercici força complicat ja que no es disposa d'una metodologia a seguir per realitzar-lo de forma acurada. Seria necessari un cost molt elevat en personal de treball de camp que observés les operacions dels usuaris de l'Àrea Blava per comprovar el destí de pagament dels usuaris. Per aquest motiu la validació es realitzarà de forma visual dibuixant les relacions al mapa i contrastant-ho amb el *know-how* dels experts.
- Morfologia de la ciutat: els criteris que s'han aplicat al model abasteixen la majoria dels casos possibles que es donen en la xarxa urbana de la ciutat, malgrat que existeixen casos en que els criteris no s'adapten al cent per cent. En aquells casos en que els registres de trams o parquímetres no tinguin un número de carrer assignat, el criteri de creuar carrer no es detectat pel model i per tant no s'aplica a la relació, d'aquesta manera una relació pot aparèixer amb més probabilitat del que li correspondria. De la mateixa forma, aquells trams o parquímetres que no es trobin a una illa de cases i per tant no tinguin cap assignació en aquest camp, no es veuran afectats pel criteri creuar illa i de nou la relació que es dona podria ser més elevada.
- Criteri de Barrera arquitectònica. Degut a la simplicitat del software amb que s'ha creat el model, el procés per identificar les barreres arquitectòniques no és el més òptim possible, ja que existeixen alguns casos en que aquestes no s'identifiquen. En el exemple mostrat a la següent figura un usuari es troba a un tram del carrer de Balmes (punt vermell), aquest amb el criteri de barrera actual tindrà una certa probabilitat de creuar la barrera ja que el nom del carrer no coincideix, sempre que la distància sigui inferior a la màxima permesa.

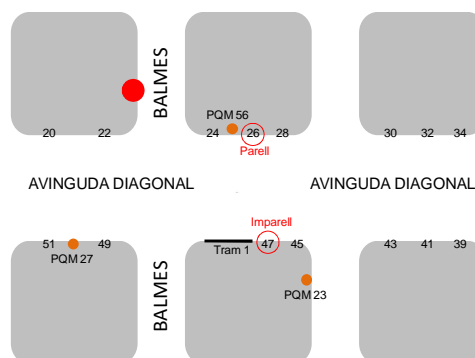


Figura 20: Restricció del criteri barrera arquitectònica.(cas d'exemple)

Per tant, per millorar el model en un futur, l’aplicació d’aquest criteri es basarà en la implementació de les barreres com a segments georeferenciats al mapa que quan són tallats per un altre segment, resultat de la unió d’un tram i un parquímetre, aquesta relació es descartarà. Aquest procés es mostra a la següent figura:

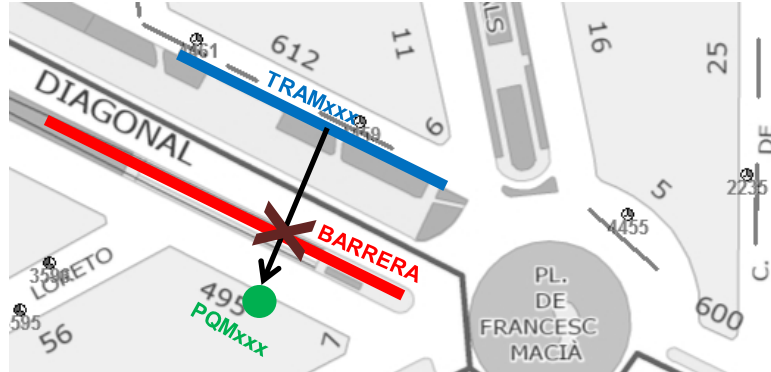


Figura 21: Millora del criteri creuar barrera arquitectònica.

- Igualtat d’ocupacions: per trams amb dos o més parquímetres a la mateixa distància, s’ha d’obtenir la mateixa ocupació. Per tant, trams que tingui igual pes a dos o més parquímetres hauran d’obtenir ocupacions iguals dels mateixos. Per a poder assolir aquest criteri es va fer la suposició que el comportament de les ocupacions en parquímetres propers és molt similar, malgrat que en algun cas podria no ser així i obtenir una relació entre trams i parquímetres menys bona.

5.5 CONTINGÈNCIES

Un dels aspectes més importants a l’hora de valorar la qualitat de l’output de sortida del model, és a dir, les relacions entre trams i parquímetres es basa en la comprovació de que tots els trams tinguin un parquímetre assignat com a mínim. Aquesta és una condició fonamental.

Que un parquímetre no tingui una relació directa amb cap tram no suposa un problema, pot ser que el parquímetre estigui en una zona amb poca visibilitat o que es trobin altres dispositius on realitzar el pagament de forma més còmoda. De cap manera aquest fet invalida els resultats del model.

Per l’altre banda, que un o més trams no tinguin una assignació de parquímetre indicarà un error al model ja que, qualsevol tram ha de tenir com a mínim un parquímetre on poder realitzar l’operació.

Per tant, se sap que l'usuari de la zona blava malgrat no complir els criteris de comportament descrits anteriorment, buscarà un parquímetre on fer d'ingrés. És en aquest punt, on neix la necessitat de crear un pla de contingència per si es dona algun cas com l'esmena't.

La metodologia del pla de contingència es descriu seguint els passos següents:

- *Pas 1: Distància.* En cas que un tram no tingui assignat un parquímetre, el primer pas consistirà en augmentar la variable distància fins a un màxim de 100 metres addicionals per aquell cas concret. Si malgrat aquesta modificació no es dona cap relació es passa al *Pas 2*.
- *Pas 2: No visibilitat.* Un tram té assignat un ID_CARRER i els parquímetres més propers tenen un altre ID_CARRER, motiu pel qual la relació tram parquímetre queda directament eliminada. En la realitat, sabem que encara no veure el parquímetre a primera vista, l'usuari el buscarà fins trobar-ne un. Per tant el segon pas en cas de no assignació del model, consistirà en no tenir en compte el criteri de visibilitat per tots aquells trams que no tinguin assignació.
- *Pas 3: Barreres arquitectòniques.* Finalment, si encara no es dona una relació a un tram, l'últim pas consistirà en eliminar el criteri de barrera arquitectònica d'aquella relació concreta, d'aquesta forma s'assegura l'existència de com a mínim una relació.

Aquests passos s'integren al model en forma de *back up*, de manera que quan acaba el procés si existeixen trams sense assignació es realitzen els passos descrits fins que el model troba un parquímetre que assignar.

Seguint aquesta metodologia, el model assegurarà l'assignació de parquímetres a tots els trams de la ciutat.

5.6 ALTRES APLICACIONS

El model d'assignació tram-parquímetre va néixer de la necessitat de millorar les dades d'entrada del model per tal d'obtenir millors prediccions de sortida i així augmentar la fiabilitat del sistema d'informació per a l'usuari SIU.

En un primer moment, aquesta era la seva única funcionalitat. Però, a mesura que es va anar desenvolupant el model matemàtic, es va veure que aquest podria tenir altres aplicacions força interessants a l'hora de ser estudiades, que donarien un valor afegit al model d'assignació.

El model tram-parquímetre realitza relacions entre trams de places d'estacionament i parquímetres on fer el pagament corresponent al servei. Com s'explicava a l'apartat 5.2.2.3 el procés es basa en tres fases.

En la primera es repartien els pesos de cada tram als diferents parquímetres amb els que tenia relació per més tard transformar aquests pesos en nombre de places. Un cop realitzada la transformació, es realitzava un procés invers repartint en funció de les places els pesos dels parquímetres als diferents trams amb que tenia relació el parquímetre analitzat.

Per tant amb aquesta informació de que es disposa, es pot arribar a conèixer el grau d'ocupació dels parquímetres de la ciutat i conseqüentment analitzar si la seva localització i dimensionament és correcte.

Un petit exemple de l'output per a la fase 1 de l'assignació, és el següent:

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												10,25		75,51	13,42	0,81		
4910	100,00																	
5185			100,00															
8052		94,18	5,82															
4953		100,00																
5184	100,00																	
2465						100,00												
5186						29,69		70,31										
2461				100,00														
2458					93,52				6,48									
2515					6,77				93,23									
2463							90,93				9,07							
2521							8,75				91,25							
2562										0,65							99,35	
total	200,00	194,18	105,82	100,00	100,29	129,69	99,68	70,31	99,71	0,65	100,32	10,25	0,00	75,51	13,42	0,81	99,35	0,00

Taula 2: Resultat fase 1 de l'assignació tram-parquímetre.

Com es pot comprovar els trams (files) reparteixen el seu pes entre els diferents parquímetres (columnes) amb qui tenen relació. D'aquesta manera si sumem verticalment podem veure quina és l'ocupació dels diferents parquímetres.

Com s'explicava en altres apartats, els percentatges no representen el mateix pes degut a que els trams no tenen el mateix nombre de places. Per aquest motiu

s'analitza la fase 2 on s'obté el número de places de cada tram que paga a cada parquímetre.

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												3,49		25,67	4,56	0,28		
4910	6,00																	
5185			2,00															
8052		4,71	0,29															
4953		5,00																
5184	4,00																	
2465						6,00												
5186						3,27		7,73										
2461				7,00														
2458					14,03				0,97									
2515					0,81				11,19									
2463							15,46				1,54							
2521							1,31				13,69							
2562										0,05							7,95	
total	10,00	9,71	2,29	7,00	14,84	9,27	16,77	7,73	12,16	0,05	15,23	3,49	0,00	25,67	4,56	0,28	7,95	0,00

Taula 3: Resultat fase 2 de l'assignació tram-parquímetre.

D'aquest output es poden extreure diferents conclusions:

- Existeixen un seguit de parquímetres que es troben sobre ocupats. Els parquímetres 4457, 4460, 4510, 4515, 4518 tenen una ocupació de més de 10 places. Aquesta dada conjuntament amb un anàlisi de l'ocupació pagada real podria informar de si a la zona estudiada es necessària la instal·lació d'un altre parquímetre o si pel contrari és correcta la disposició actual.
- Per contrapartida existeixen parquímetres que no tenen assignació de places d'estacionament, o és molt reduïda. Aquest són per exemple els parquímetres 4513, 4517, 4519, 4558. En aquest cas el model informa de que aquests parquímetres no són utilitzats pels usuaris i per tant podrien ser reubicats a una altre zona amb una ocupació de parquímetres més elevada.

Com es pot comprovar el model d'assignació tram-parquímetre ens dona un grau d'informació de l'ocupació dels diferents parquímetres disposats a la ciutat. Aquesta eina podria arribar a transformar-se en un model que ajudés al dimensionament i ubicació de parquímetres a la ciutat amb l'objectiu de tenir parquímetres amb una ocupació més o menys homogènia. A més a més, aquest model optimitzaria el nombre de parquímetres necessaris i per tant el cost econòmic de la seva implantació.

En conclusió, sembla que el desenvolupament d'aquest model podria arribar a tenir altres aplicacions significativament positives envers el dimensionament de parquímetres a la ciutat i donar un valor afegit a l'eina creada.

5.7 CAS PRÀCTIC DEL MODEL TRAM-PARQUÍMETRE

5.7.1 Introducció al cas

Amb l'objectiu de comprovar la fiabilitat de les assignacions obtingudes al model tram parquímetre, en aquest apartat es pretén analitzar el seu càlcul en una zona concreta de la ciutat de Barcelona.

La zona escollida serà la situada a Francesc Macià, entre la plaça de *Francesc Macià* i els carrers *Tenor Viñas* i *Bori i Fontestà*. La zona conté 18 parquímetres distribuïts pels diferents carrers, i 14 trams amb un total de 147 places d'estacionament en calçada de l'Àrea Blava.

S'ha escollit aquesta zona per contenir diferents elements i tenir una morfologia no del tot regular com podria ser un tram de l'eixample. Per aquest motiu es considera que pot ser un bon cas d'estudi amb l'objectiu de calibrar els paràmetres de distància, creuar carrer i creuar illa i analitzar la fiabilitat del model.

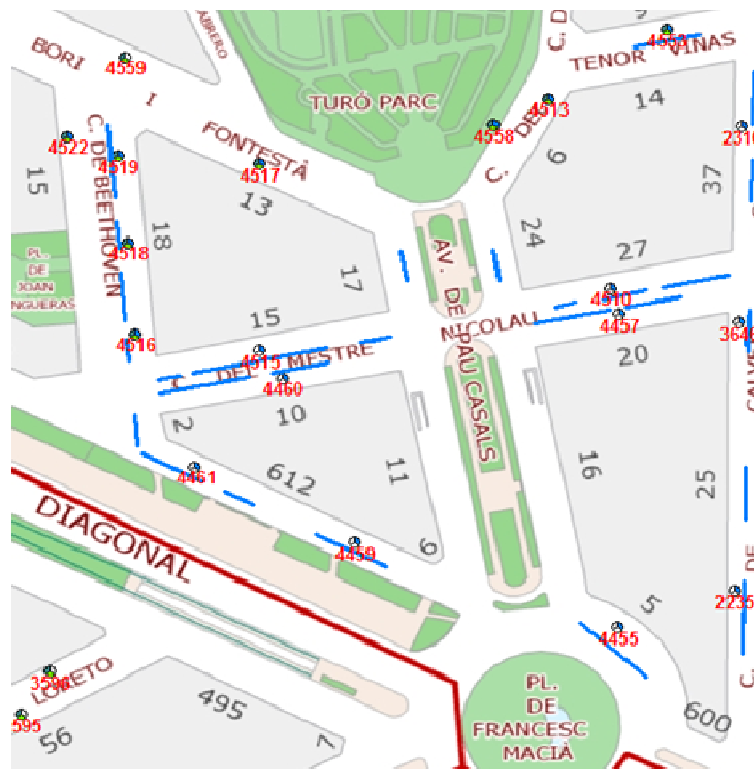


Figura 22: Situació geogràfica zona Francesc Macià.

5.7.2 Fase 1: Introducció dels Inputs

Els inputs d'entrada del model, descrits a l'apartat 5.2.3 s'han obtingut de la base de dades de Barcelona Serveis Municipals conjuntament amb informació del servei de dades obertes de l'Ajuntament de Barcelona [10].

Un cop creuades i depurades les bases de dades, s'obtenen els inputs del model relatius a parquímetres i trams, respectivament. El format en que s'introdueixen al model creat és el següent per les zones indicades.

CODI_PQM	UTM_Y	UTM_X	CARRER	NÚMERO	PARITA T	ID_CARRE R	CODI_ILL A	CARRER CANTON	ID_CAN TONAD	ID_BARR E	CONFIGURACIÓ
2235	428490	4582815	CALVET	7	IMPAR	55603	16491			0	B
2310	428341	4582972	CALVET	33	IMPAR	55603	16500			0	B
3646	428404	4582906	CALVET	23	IMPAR	55603	16491			0	B
4455	428466	4582768	FRANCESC MACIA	4	PAR	55807	16491			0	B
4457	428364	4582872	MESTRE NICOLAU	14	PAR	188607	16491			0	B
4459	428357	4582716	DIAGONAL	604	PAR	144601	16511			0	B
4460	428281	4582749	MESTRE NICOLAU	4	PAR	188607	16511			0	B
4461	428283	4582693	DIAGONAL	612	PAR	144601	16511			0	B
4510	428353	4582878	MESTRE NICOLAU	21	IMPAR	188607	16500			0	B
4513	428272	4582922	TENOR VIÑAS	6	PAR	334006	16500			0	B
4515	428265	4582751	MESTRE NICOLAU	9	IMPAR	188607	16521			0	B
4516	428221	4582719	BEETHOVEN	6	PAR	37408	16521			0	B
4517	428204	4582813	BORII FONTESTA	7	IMPAR	46103	16521			0	B
4518	428189	4582747	BEETHOVEN	12	PAR	37408	16521			0	B
4519	428158	4582773	BEETHOVEN	18	PAR	37408	16521			0	B
4522	428136	4582764	BEETHOVEN	13	IMPAR	37408	16530			0	B
4553	428286	4582981	TENOR VIÑAS	5	IMPAR	334006	32220			0	B
4558	428264	4582897	TENOR VIÑAS	2	PAR	334006	16500			0	B

Taula 4: Inputs de trams (model tram-pqm, Francesc Macià)

CODI_TRAM	UTM_Y	UTM_X	CARRER	NÚMERO	PARITA T	ID_CARRE R	CODI_ILL A	ID_BARR ERA	CONFIGURACIÓ	# PLACES
2518	428183	4582747	BEETHOVEN	18	PAR	37408	16521	0	B	34
4910	428461	4582851	CALVET	15	IMPAR	55603	16491	0	B	6
5185	428407	4582907	CALVET	23	IMPAR	55603	16491	0	B	2
8052	428361	4582957	CALVET	31	IMPAR	55603	16500	0	B	5
4953	428335	4582985	CALVET	37	IMPAR	55603	16500	0	B	5
5184	428499	4582811	CALVET	5	IMPAR	55603	16491	0	B	4
2465	428357	4582712	DIAGONAL	604	PAR	144601	16511	0	B	6
5186	428306	4582696	DIAGONAL	612	PAR	144601	16511	0	B	11
2461	428471	4582759	FRANCESC MACIA	4	PAR	55807	16491	0	B	7
2458	428370	4582887	MESTRE NICOLAU	14	PAR	188607	16491	0	B	15
2515	428343	4582859	MESTRE NICOLAU	21	IMPAR	188607	16500	0	B	12
2463	428258	4582723	MESTRE NICOLAU	4	PAR	188607	16511	0	B	17
2521	428295	4582788	MESTRE NICOLAU	9	IMPAR	188607	16521	1	B	15
2562	428289	4582978	TENOR VIÑAS	5	IMPAR	334006	32220	2	B	8

Taula 5: Inputs de parquímetres (model tram-pqm, Francesc Macià)

On, ID_BARRERA amb valor "0" indica que no existeix cap barrera arquitectònica associada al carrer corresponent, mentre que el camp CONFIGURACIÓ amb valor "B" indica que es tracta d'un parquímetre en el que es pot pagar zona blava o un tram de la mateixa zona.

Un cop introduïts els inputs al model, aquest són avaluats en una taula creuada com es mostra a la següent fase.

5.7.3 Fase 2: Aplicació de les hipòtesis de creuament

En aquesta fase s'aplicaran les hipòtesis discriminatòries de relació i reductores descrites als apartats 5.2.1.1 i 5.2.1.2 al conjunt de la base de dades, mitjançant una taula creuada de forma que s'abasteixen totes les combinacions de tram-parquímetre possibles a la zona analitzada.

Distància

Si $D(\text{tram}, \text{pqm}) < 75\text{m}$ → Es manté la distància

$$\text{On } D(\text{tram}, \text{pqm}) = \sqrt{(x_{\text{tram}} - x_{\text{pqm}})^2 + (y_{\text{tram}} - y_{\text{pqm}})^2}$$

Aplicant aquest criteri obtenim una taula creuada amb els parquímetres favorables per cada tram i la distància que els separa. Els parquímetres no favorables han estat discriminats i es poden identificar amb les caselles buides, mentre que el valor de les relacions que es mantenen correspon a la distància que separa el tram i parquímetre considerats.

En un primer moment, i amb l'experiència d'alguns experts de l'Àrea Blava es pren un valor de 75m pel paràmetre distància, de forma que les relacions resultants són les següents:

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												47,27	69,81	6,42	36,12	49,76		
4910	46,39																	
5185			3,57		55,80				61,68									
8052		24,82	66,91															
4953		14,20															49,02	
5184	10,29			54,37														
2465						3,60												
5186						54,84	58,70	23,16			68,68							
2461	59,15			10,27														
2458			39,04		15,93				19,16									
2515					24,23				21,11									
2463							34,59	38,74			28,91	37,53		73,41				
2521							41,59				47,85							
2562		52,23								58,18								4,57

Taula 6: Taula creuada amb criteri de distància (Francesc Macià)

Visibilitat

S'aplica el criteri de visibilitat, on les relacions es mantindran si existeix coincidència de ID de carrers. En cas de mantenir-se la relació es dona com a valor la distància, en altre cas la cel·la queda buida.

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												47,27		6,42	36,12	49,76		
4910	46,39																	
5185			3,57															
8052		24,82	66,91															
4953		14,20																
5184	10,29																	
2465						3,60												
5186						54,84		23,16										
2461				10,27														
2458					15,93				19,16									
2515					24,23				21,11									
2463							34,59				28,91							
2521							41,59				47,85							
2562										58,18							4,57	

Taula 7: Taula creuada amb criteri de visibilitat (Francesc Macià)

Barreres arquitectòniques

S'elimina la relació si : $ID_{barrera_{tram}} = ID_{barrera_{pqm}} \neq 0 \cup Paritat_{tram} \neq Paritat_{pqm}$, en la resta de casos es manté el valor de distància. La taula resultat es mostra seguidament.

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												47,27		6,42	36,12	49,76		
4910	46,39																	
5185			3,57															
8052		24,82	66,91															
4953		14,20																
5184	10,29																	
2465						3,60												
5186						54,84		23,16										
2461				10,27														
2458					15,93				19,16									
2515					24,23				21,11									
2463							34,59				28,91							
2521							41,59				47,85							
2562										58,18							4,57	

Taula 8: Taula creuada amb criteri de barrera arquitectònica

Configuració de tarifa

En aquesta fase el model creua els inputs de tarifa, si aquests coincideixen el valor de la cel·la es manté com la distància. En cas contrari s'elimina el valor.

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												47,27		6,42	36,12	49,76		
4910	46,39																	
5185			3,57															
8052		24,82	66,91															
4953		14,20																
5184	10,29																	
2465						3,60												
5186						54,84		23,16										
2461				10,27														
2458					15,93				19,16									
2515					24,23				21,11									
2463							34,59				28,91							
2521							41,59				47,85							
2562										58,18							4,57	

Taula 9: Taula creuada amb criteri de tarifa (Francesc Macià)

Creuar carrer

Si $\text{Paritat}_{\text{tram}} \neq \text{Paritat}_{\text{pqm}} \rightarrow$ Es manté la relació, en cas contrari s'aplica un factor reductor de relació.

És a dir, si número de carrer del tram es parell i el número de carrer del parquímetre també ho és, llavors es manté la relació entre tram i parquímetre.

En cas contrari (Parell-Imparell, Imparell-Parell), la distància entre tram-pqm es multiplica per un factor. En aquest cas el paràmetre multiplicador és 2, això voldrà dir que per a un usuari creuar un carrer suposa en termes de distància, el doble de la distància que hi ha realment entre tram i parquímetre.

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												47,27		6,42	36,12	124,39		
4910	46,39																	
5185			3,57															
8052		24,82																
4953		14,20																
5184	10,29																	
2465						3,60												
5186						54,84	58,70	23,16										
2461				10,27														
2458					15,93				47,89									
2515					60,58				21,11									
2463							34,59				72,27							
2521							103,98				47,85							
2562										145,45							4,57	

Taula 10: Taula creuada amb criteri de creuar carrer (Francesc Macià)

Creuar Illa

Si $\text{ID_Illa}_{\text{tram}} = \text{ID_Illa}_{\text{pqm}} \rightarrow$ Es manté la relació, en cas contrari s'aplica un factor reductor de relació.

Per tant, si no existeix coincidència de codi d'illa, la distància entre tram-pqm es multiplica per un factor. En aquest cas el paràmetre multiplicador és 4, això voldrà dir

que per a un usuari creuar una illa suposa 4 cops més de la distància que en realitat separa el tram amb el parquímetre analitzat.

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												47,27		6,42	36,12	746,33		
4910	46,39																	
5185			3,57															
8052		24,82																
4953		14,20																
5184	10,29																	
2465						3,60												
5186						54,84	58,70	23,16										
2461				10,27														
2458					15,93				287,34									
2515					363,48				21,11									
2463							34,59				433,61							
2521							623,88				47,85							
2562										872,73							4,57	

Taula 11: Taula creuada amb criteri de creuar illa (Francesc Macià)

5.7.4 Fase 3: Assignacions

Com s'ha explicat en l'apartat 5.2.2.3 es procedeix a aplicar les fases d'assignacions de pesos entre trams i parquímetres.

En primer lloc s'assignen pesos de trams a parquímetres de forma indirectament proporcional a la distància, resultant la següent taula:

TRAM	PARQUÍMETRE																	
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558
2518												10		76	13	1		
4910	100																	
5185			100															
8052		100																
4953		100																
5184	100																	
2465						100												
5186						23	21,7	55										
2461				100														
2458					95				5									
2515					5				95									
2463							93				7							
2521							7				93							
2562										1							99	

Taula 12: Taula creuada amb assignacions de tram a parquímetre en % (Francesc Macià)

En segon lloc es transformen aquests pesos en nombre de places:

TRAM	PARQUÍMETRE																		TOTAL
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558	
2518												3,5		25,7	4,6	0,2			34
4910	6																		6
5185			2																2
8052		5,0																	5
4953		5																	5
5184	4																		4
2465						6													6
5186						2,6	2,39	6,1											11
2461				7															7
2458					14,2				0,8										15
2515					0,7				11,3										12
2463							15,7					1,3							17
2521							1,1					13,9							15
2562										0,0							8,0		8

Taula 13: Taula creuada amb assignacions de tram a parquímetre en places (Francesc Macià)

Com es pot comprovar en el camp de totals, la suma en horitzontal de totes les places assignades a parquímetres, és igual a l'input de places.

Per finalitzar aquestes places assignades a cada parquímetre es tradueixen en pesos, però aquest cop de parquímetres a trams. Aquest pas es realitza sumant totes les places d'un parquímetre i assignant pesos segons el nombre de places que cada tram li ha assignat.

D'aquesta forma s'obté l'output final:

TRAM	PARQUÍMETRE																		TOTAL
	2235	2310	3646	4455	4457	4459	4460	4461	4510	4513	4515	4516	4517	4518	4519	4522	4553	4558	
2518												100%		100%	100%	100%			
4910	60%																		
5185			100%																
8052		50%																	
4953		50%																	
5184	40%																		
2465						70%													
5186						30%	12%	100%											
2461				100%															
2458					96%				6%										
2515					4%				94%										
2463							82%				8%								
2521							6%				92%								
2562										100%							100%		
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	

Taula 14: Taula creuada amb assignacions finals (Francesc Macià)

La lectura dels outputs és la següent:

Si es mira el parquímetre 2235, aquest indica que tota la recaptació del mateix prové en un 60% del tram 4190 i en un 40% del tram 5184. Mentre que la recaptació per exemple del parquímetre 3646 prové en el seu total del tram 5185.

Com es pot comprova, tots els trams estan assignats a un parquímetre, condició necessària per a tenir uns outputs fiables.

Per una altra banda, existeixen però, parquímetres que no tenen cap assignació, això es deu a que es troben a una situació molt poc favorable per a que els usuaris dels trams més propers l'utilitzin, o perquè tenen altres dispositius que es troben més a prop. Són exemple els parquímetres 4517 i el 4558, aquests es troben en la part superior de la zona i no tenen cap tram de l'Àrea Blava a prop, per tant es dona com a vàlid l'output. Mirant la resta de relacions entre trams i parquímetres sembla bastant raonable la seva distribució.

Per ajustar i validar el model s'ha realitzat el mateix exercici variant els paràmetres de distància màxima que recorre un usuari i el paràmetres corresponents a creuar carrer i creuar illa. Aquest resultat es poden veure als apartats de l'Annex 1.1.1, 1.1.2 i 1.1.3.

Finalment, consultat la distribució en el mapa dels diferents outputs amb el criteri i l'experiència d'alguns experts de l'Àrea Blava, es va concloure que els paràmetres que més s'ajusten a la realitat són:

- Distància màxima: 75m
- Coeficient de creuar carrer: 2,5
- Coeficient de creuar illa : 6

Per tant, en els propers càlculs s'utilitzaran aquests valors per realitzar l'assignació tram-parquímetre.

6. PRIMERS RESULTATS: CAS PRÀCTIC DEL MODEL PREDICTIU

En aquest apartat es pretén realitzar el procés de càlcul de prediccions d'ocupació de places d'estacionament en calçada per dues zones de la ciutat de Barcelona. D'aquesta forma es podrà analitzar i comprendre el funcionament dels models.

Com s'ha explicat anteriorment, el model matemàtic predictiu ha estat només objecte d'estudi i comprensió, no és la finalitat d'aquest estudi l'anàlisi de l'algoritme matemàtic ja que la seva creació ha estat externa al projecte.

Per una altra banda el que sí ha estat finalitat del treball ha estat la creació del model tram-parquímetre un cop es va veure la necessitat i el valor afegit que el mateix donava al model global.

Per tant, amb l'objectiu d'analitzar la qualitat dels outputs del model a la situació real, en una primera fase s'aplicarà el model d'assignació tram-parquímetre a les dues zones analitzades, mentre que un cop es tinguin les assignacions es donaran, només, els resultats obtinguts d'aplicar l'algoritme del model predictiu.

6.1 INTRODUCCIÓ AL CAS

Durant el mes de Març es van realitzar prediccions al llarg de 9 dies a les zones d'Hospital Clínic i Ronda Sant Pere. Els dies dels que es disposen prediccions, corresponen al 10, 14, 17, 18, 22, 23, 24, 29 i 31 de Març.

- Hospital Clínic: comprés entre els carrers de *Villarroel*, *Mallorca*, *Còrsega* i *Rosselló*. Amb un nombre total de 12 parquímetres i 12 trams d'Àrea Blava que contenen un total de 77 places d'estacionament en calçada.
- Ronda Sant Pere: situat als carrers *Ronda Sant Pere*, *Ausiàs Marc* i *Bruc*. Amb un nombre total de 9 parquímetres i 8 trams d'Àrea Blava que contenen un total de 94 places d'estacionament en calçada.

S'han escollit aquestes zones per tractar-se d'ubicacions amb trams de zona blava elevat amb un nombre de places d'estacionament i per ser zones amb bastant rotació de vehicles a les places d'estacionament, sobretot en el cas d'Hospital Clínic.

En les següents figures, es mostra la situació geogràfica de les zones descrites, els trams d'Àrea Blava analitzats es mostren com segments de color blau (id_tram color vermell), mentre que els parquímetres es mostren com a petites circumferències .



Figura 23: Situació geogràfica zona Hospital Clínic

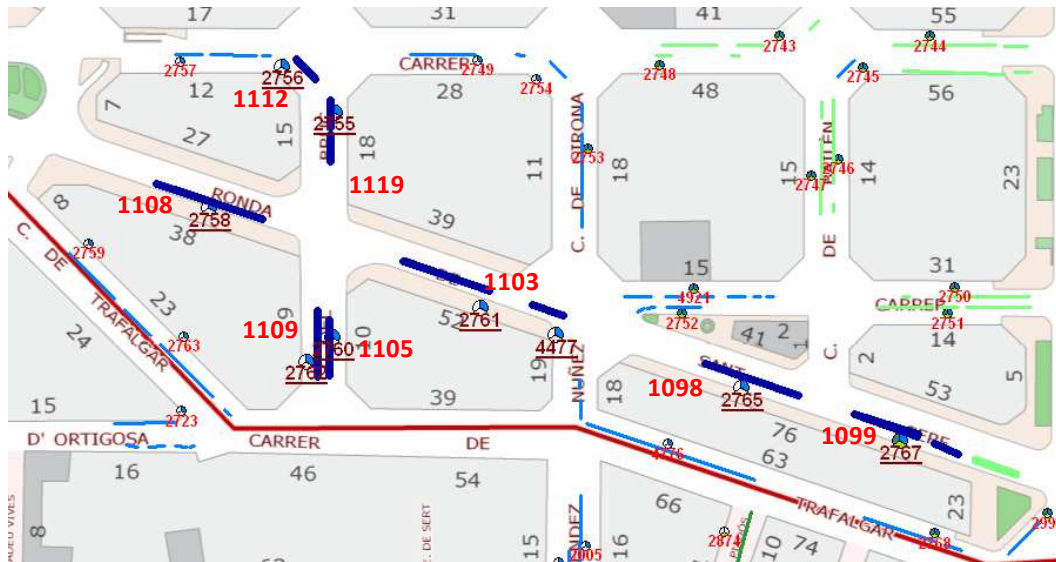


Figura 24. Situació geogràfica zona Ronda Sant Pere

6.2 RESULTATS DEL MODEL TRAM PARQUÍMETRE

6.2.1 Inputs

De nou, els inputs d'entrada del model, s'obtenen de la base de dades de Barcelona Serveis Municipals conjuntament amb informació del servei de dades obertes de l'Ajuntament de Barcelona [10].

Un cop creuades i depurades les bases de dades, els inputs del model relatius a parquímetres i trams, respectivament són els següents:

ZONA	CODI_PQM	UTM_Y	UTM_X	CARRER	NÚMERO	PARITA T	ID_CARRE R	CODI_ILLA	ID_BARR ERA	CODI_IL LA	ID_BARRE RA	CONFIGU RACIÓ
HOSPITAL CLÍNIC	2523	428954	4582392	CÒRSEGA	185	IMPAR	90502	VILLARROEL	363809	15290	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2534	428936	4582345	CÒRSEGA	178	PAR	90502			15280	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2535	429010	4582250	ROSSELLÓ	151	IMPAR	289105			15280	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2536	429050	4582269	ROSSELLÓ	122	PAR	289105			15272	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2539	429116	4582260	VILLARROEL	170	PAR	363809			15263	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2564	429183	4582202	VILLARROEL	164	PAR	363809	PROVENÇA	268003	60413	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	4452	428992	4582389	VILLARROEL	168	PAR	363809	CÒRSEGA	90502	15263	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2519	428885	4582467	VILLARROEL	223	IMPAR	363809	PARÍS	245802	15290	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2520	428936	4582442	VILLARROEL	180	PAR	363809			15300	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2563	429235	4582100	MALLORCA	131	IMPAR	191204	VILLARROEL	363809	60400	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2592	429329	4582042	VILLARROEL	134	PAR	363809			60380	0	B
HOSPITAL CLÍNIC	2680	429216	4582157	VILLARROEL	160	PAR	363809			120826	0	B
RDA SANT PERE	2755	431011	4582425	BRUC	18	PAR	49509			41290	0	B
RDA SANT PERE	2756	430974	4582423	AUSIÀS MARC	12	PAR	28305	BRUC	49509	41300	0	B
RDA SANT PERE	2758	430999	4582342	RDA SANT PERE	32	PAR	309406			41221	0	B
RDA SANT PERE	2760	431094	4582339	BRUC	6	PAR	49509			41230	0	B
RDA SANT PERE	2761	431139	4582405	RDA SANT PERE	48	PAR	309406			41230	0	B
RDA SANT PERE	2762	431093	4582320	BRUC	3	IMPAR	49509			41221	0	B
RDA SANT PERE	2765	431268	4582472	RDA SANT PERE	60	PAR	309406			41240	0	B
RDA SANT PERE	2767	431348	4582511	RDA SANT PERE	70	PAR	309406			41240	0	B
RDA SANT PERE	4477	431178	4582423	RDA SANT PERE	52	PAR	309406			41230	0	B

Taula 15: Inputs de parquímetres (cas pràctic)

ZONA	CODI_TRAM	UTM_Y	UTM_X	CARRER	NÚMERO	PARITA T	ID_CARRE R	CODI_ILLA	ID_BARRERA	CONFIGURACIÓ	# PLACES
HOSPITAL CLÍNIC	914	428927	4582447	VILLARROEL	178	PAR	363809	15300	0	B	10
HOSPITAL CLÍNIC	922	428961	4582393	còRSEGA	185	IMPAR	90502	15290	0	B	6
HOSPITAL CLÍNIC	900	428917	4582333	còRSEGA	178	PAR	90502	15280	0	B	2
HOSPITAL CLÍNIC	3585	429069	4582284	ROSSELLÓ	122	PAR	289105	15272	0	B	5
HOSPITAL CLÍNIC	844	429242	4582106	VILLARROEL	153	IMPAR	363809	60400	0	B	6
HOSPITAL CLÍNIC	822	429306	4582060	VILLARROEL	140	PAR	363809	60380	0	B	12
HOSPITAL CLÍNIC	838	429224	4582144	VILLARROEL	160	PAR	363809	120826	0	B	11
HOSPITAL CLÍNIC	864	429111	4582259	VILLARROEL	170	PAR	363809	15263	0	B	10
HOSPITAL CLÍNIC	3618	429350	4582026	VILLARROEL	132	PAR	363809	60380	0	B	4
HOSPITAL CLÍNIC	901	429026	4582259	ROSSELLÓ	151	IMPAR	289105	15280	0	B	8
HOSPITAL CLÍNIC	877	429039	4582265	ROSSELLÓ	114	PAR	289105	15272	0	B	7
HOSPITAL CLÍNIC	5082	429015	4582241	ROSSELLÓ	112	PAR	289105	15271	0	B	2
RDA SANT PERE	1098	431267	4582479	Rda SANT PERE	60	PAR	309406	41240	1	B	16
RDA SANT PERE	1099	431346	4582516	Rda SANT PERE	70	PAR	309406	41240	2	B	23
RDA SANT PERE	1103	431130	4582413	Rda SANT PERE	46	PAR	309406	41230	3	B	25
RDA SANT PERE	1105	431095	4582334	BRUC	6	PAR	49509	41230	4	B	6
RDA SANT PERE	1108	430998	4582346	Rda SANT PERE	32	PAR	309406	41221	5	B	7
RDA SANT PERE	1109	431089	4582331	BRUC	5	IMPAR	49509	41221	6	B	5
RDA SANT PERE	1112	430983	4582431	BRUC	15	IMPAR	49509	41300	7	B	5
RDA SANT PERE	1119	431015	4582417	BRUC	18	PAR	49509	41290	8	B	7

Taula 16: Inputs de trams (cas pràctic)

6.2.2 Outputs

S'introdueixen les dades al model i s'obtenen les assignacions següents:

TRAM	PARQUÍMETRE																				
	2523	2534	2535	2536	2539	2564	4452	2519	2520	2563	2592	2680	2755	2756	2758	2760	2761	2762	2765	2767	4477
914	2%							100%	100%												
922	97%	3%					100%														
900	1%	97%																			
3585			1%	38%																	
844										96%		1%									
822											75%										
838						100%				4%		99%									
864					100%																
3618											25%										
901			83%	3%																	
877			2%	53%																	
5082			14%	6%																	
1098																			100%		
1099																				100%	
1103																	100%				100%
1105																94%		3%			100%
1108															100%						
1109																6%		97%			
1112													4%	95%							
1119													96%	5%							
Totals	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Distància									75											
	Creuar carrer									2,5											
	Creuar illa									6											

Taula 17: Taula creuada amb assignacions finals (Cas pràctic)

En la taula anterior es pot comprovar que tots els trams tenen assignat com a mínim un parquímetre i els outputs d'ambdós zones s'ajusten força bé a la situació real de les zones. Es pot veure el procés de càlcul per les diferents etapes a l'apartat 1.2.1 de l'Annex.

Per tant, es dona per bona l'assignació tram-parquímetre de les zones analitzades i es procedeix a introduir els resultats al model de predicció.

Pels dies 10, 14, 17, 18, 22, 23 , 24, 29 i 31 de Març s'han tornat a calcular les prediccions tot i no existir variacions en el nombre de places de cada tram ni la ubicació de parquímetres. Per aquest motiu s'introdueix al model predictiu la taula de forma estàtica.

6.3 RESULTATS DEL MODEL PREDICTIU D'ESTACIONAMENT- SIU

6.3.1 Primers resultats

Un cop validades les dades d'entrada del model relatives a les assignacions de trams i parquímetres, aquestes són introduïdes al model amb l'objectiu d'obtenir prediccions d'ocupació de trams.

Per tant, un cop introduïdes les relacions descrites al model predictiu i les zones on es vol conèixer l'ocupació dels trams, es realitzen prediccions pel dia següent.

Una petita mostra de les prediccions corresponents als dies 10, 14, 17, 18, 22, 23 , 24, 29 i 31 de Març es mostren en l'Annex l'apartat 1.2.2, on es donen prediccions d'ocupació pagada i real pel dia 10 de Març cada 5 min als trams descrits a la introducció.

6.3.2 Validació

Amb l'objectiu de veure com aquests resultats s'assemblen a la realitat, durant els dies analitzats del mes de Març es va efectuar treball de camp en les mateixes zones descrites. En aquest, es comptaven el nombre de places lliures i ocupades per cadascun dels trams.

Una petita mostra del resultat de treball de camp es recull a l'apartat 1.2.3 de l'Annex.

Per tant un cop es tenen les dues bases de dades, aquestes són comparades per analitzar la fiabilitat del model. El procediment seguit es basa en l'anàlisi de la diferència semafòrica, és a dir, no s'analitza el percentatge d'error del model, sinó que s'analitza la diferència entre els colors del tram que s'ha predit amb el color que tindria en la realitat en funció de la seva ocupació.

Per fer-ho s'ha aplicat una taula semafòrica on el comportament per tram de més de 10 places es comporta com es mostra en la taula següent:

Llindars semàfors	
1 Verd	75%
2 Groc	90%
3 Vermell	

Taula 18: LLindar semafòric

Quan l’ocupació del tram sigui inferior al 75% es mostrarà al tram de color verd, en cas de ser superior a aquest límit però inferior al 90% es mostrarà en color groc, mentre que si l’ocupació del tram es troba per sobre del 90% llavors el tram es mostrarà en vermell.

Mitjançant aquesta semaforització es comparen els resultats obtinguts a la predicció i el treball de camp i s’obtenen els resultats detallats a l’apartat 1.2.4 de l’Annex.

Els criteris aplicats per avaluar el nivell d’encert de la predicció es basa en el següents nivells:

- Predicció correcta: Es dona quan el color del semàfor de la predicció del model és igual que el color que li pertany a la realitat (resultat del treball de camp).
- Predicció molt pessimista: Són aquells casos en que la predicció dona una ocupació molt més gran a la que es dona a la realitat, es tracta d’un salt de dos nivells de color.
- Predicció pessimista: Es dona quan es sobreestima l’ocupació envers la situació real, són casos en que es dona un salt d’un nivell a l’escala semafòrica.
- Predicció optimista: Casos en que es subestima l’ocupació amb un salt de només un nivell en l’escala semafòrica.
- Predicció molt optimista: Són aquells casos en que es subestima molt l’ocupació, donant lloc a salts de dos nivells de color.

	Ocupació predicció	Ocupació real
Correcta	Verd	Verd
	Vermell	Vermell
	Groc	Groc
Molt Pessimista	Vermell	Verd
Pesimista	Groc	Verd
	Vermell	Groc
Optimista	Verd	Groc
	Groc	Vermell
Molt Optimista	Verd	Vermell

Taula 19. Nivells d'encert de les prediccions segons els semàfors

Finalment, aplicant aquests criteris s'obtenen els resultats de la validació. Aquests s'han segmentat en franges horàries de 2 hores en els horaris en que l'Àrea Blava és activa, en la seva majoria, (9 a 14h i de 16 a 20h).

Groc: 75 a 90%						
Zona	FH	Correcte	Molt Optimista	Molt Pesimista	Optimista	Pesimista
Hospital Clínic	FH1 9-10	29%	0%	0%	14%	57%
	FH2 10-12	100%	0%	0%	0%	0%
	FH3 12-14	85%	0%	0%	15%	0%
	FH4 16-18	33%	0%	0%	33%	33%
	FH5 18-20	83%	0%	0%	17%	0%
	Promig	66%	0%	0%	16%	18%
Ronda Sant Pere	FH1 9-10	44%	0%	0%	17%	39%
	FH2 10-12	20%	0%	0%	0%	80%
	FH3 12-14	63%	16%	0%	0%	21%
	FH4 16-18	90%	0%	0%	0%	10%
	FH5 18-20	66%	2%	0%	9%	23%
	Promig	57%	4%	0%	5%	35%
TOTAL		61%	2%	0%	11%	26%

Taula 20: Resultats de la validació

En promig, i amb un semàfor de groc entre el 75 i 90%, el tant per cent de prediccions correctes és del 61%. La resta de les prediccions es troben en la seva majoria en la part pessimista, és a dir, es donen prediccions amb sobreestimació de l'ocupació.

En el cas de Hospital Clínic aquesta part de pessimistes es concentra sobre tot en les franges horàries 1 i 4 mentre que a la zona de Ronda de Sant Pere el tant per cent de prediccions pessimistes es distribueix gairebé al llarg de totes les franges horàries.

Conseqüentment es clar que es necessari analitzar amb profunditat quines implicacions tenen la definició dels llindars semafòrics envers els resultats de les prediccions i la informació que l’usuari percep.

Per aquest motiu en l’apartat 7 s’estudiarà quina és la millor definició de llindars semafòrics envers l’usuari, la fiabilitat del propi model i l’ús del transport públic o privat.

7. AFECTACIONS

El model d'informació a l'usuari SIU, expressa les prediccions d'ocupació de trams en una escala de colors semafòrica. Aquest fenomen fa que el model sigui força sensible a canvis d'aquests llindars, ja que això podria variar els resultats del model i conseqüentment la informació que l'usuari percep.

Per tant, en aquest capítol s'analitza la influència dels llindars semafòrics en tres nivells:

- **Fiabilitat del model:** s'analitzarà com varia la fiabilitat del model en funció del llindars semafòrics que s'estableixin. S'entén com fiabilitat el tant per cent de prediccions correctes, és a dir, aquelles prediccions que tenen el mateix nivell d'ocupació que en la realitat, entenent com a nivell el color de l'output.
- **Resposta de l'usuari:** en aquest cas s'estudiarà quina és la reacció de l'usuari a l'output del model un cop arriba al seu destí. És a dir, es pretén estudiar la reacció emocional de l'usuari un cop coneix ambdós informacions, l'ocupació predita i la real en funció dels llindars semafòrics establerts.
- **Promoció del transport col·lectiu:** s'analitzarà com la definició dels llindars semafòrics pot arribar a condicionar la decisió de l'usuari a utilitzar el vehicle privat o recórrer a medis de transport col·lectius.

Per fer-ho s'estudiaran vuit possibles escales semafòriques que es mostren seguidament:

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6	Cas 7	Cas 8
1 Verd	< 50%	< 60%	< 65%	< 70%	< 70%	< 75%	< 80%	< 85%
2 Groc	50-75%	60-80%	65-80%	70-85%	70-90%	75-90%	80-90%	85-95%
3 Vermell	>75%	>80%	>80%	>85%	>90%	>90%	>90%	>95%

Figura 25: Casos d'escales semafòriques.

Aquestes escales s'aplicaran al cas pràctic dut a terme a l'apartat 6 i es veurà com varien els resultats de la predicció en cada cas.

Els resultats detallats de cada cas es poden veure a l'apartat 1.3 de l'Annex

7.1 FIABILITAT DEL MODEL

La fiabilitat del model s'avalua com el tant per cent de prediccions correctes que el model predictiu dona.

Per realitzar un estudi més acurat, s'analitzaran els tres casos esmentats en funció del grau d'error comès:

- Prediccions correctes: aquelles on la predicció del color semafòric és igual a la realitat.
- Prediccions amb un grau d'error: es tracta d'aquelles en que el model prediu un color i en la realitat existeix un salt d'un grau en l'escala semafòrica. Per exemple, el model prediu groc i en la realitat és verd. Són per tant, la suma de les prediccions optimistes i pessimistes.
- Prediccions amb dos graus d'error: són les prediccions que tenen un salt de dos graus d'error amb la realitat. Un cas seria mostrar a l'usuari color verd per un tram i trobar-se'l vermell un cop arribés al destí. Aquests són els casos que s'han de reduir al màxim i corresponen a la suma de les prediccions molt pessimistes i molt optimistes.

S'apliquen els llindars semafòrics definits als casos i s'obtenen els següents resultats:

	Sem. Groc	Correcte	1 Grau	2 Grau
Cas 1	50-75	92%	7%	1%
Cas 2	60-80	88%	10%	1%
Cas 3	65-80	86%	12%	1%
Cas 4	70-85	80%	18%	2%
Cas 5	70-90	66%	34%	1%
Cas 6	75-90	66%	32%	2%
Cas 7	80-90	63%	32%	11%
Cas 8	85-95	44%	51%	5%

Figura 26: Fiabilitat del model segons llindars semafòrics.

Analitzant els resultats es pot veure que el tant per cent d'error que tenen un salt de 2 graus en l'escala semafòrica és insignificant pels sis primers casos, només un 1% en el pitjor dels casos. Mentre que en els casos 7 i 8 augmenta considerablement.

Respecte als errors d'un grau de salt en els nivells de colors aquest valor augmenta força quan el límit inferior del llindar de groc augmenta. En els casos 5, 6, 7 i 8 on l'amplada del llindar de groc es del 10% el tant per cent dels casos que tenen un salt d'error es troba per sobre del 30%.

Passa el mateix amb el nombre de prediccions correctes, a mesura que el interval groc disminueix d'amplada i els valors límit són més alts, la xifra de prediccions correctes es redueix. Aquesta tendència es pot veure al següent gràfic:

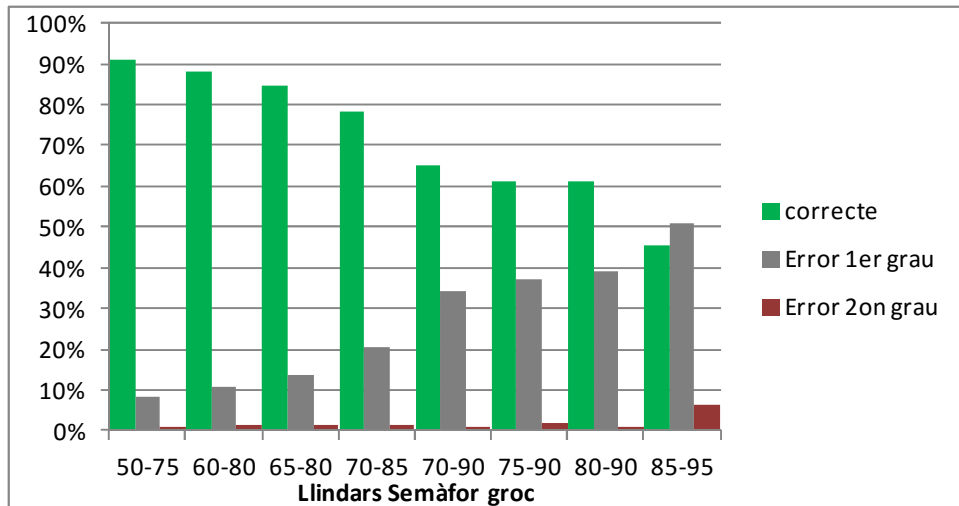


Figura 27: Tendència de la fiabilitat de les prediccions en funció dels llindars de groc.

Per una altra banda, malgrat augmentar el percentatge de prediccions correctes se sap que al establir llindars de groc-vermell més baixos es pot arribar a donar una percepció de sobre ocupació de les zones.

Per aquesta raó, s'analitza seguidament el color de les prediccions correctes per veure quina percepció d'ocupació donaran a l'usuari com a output.

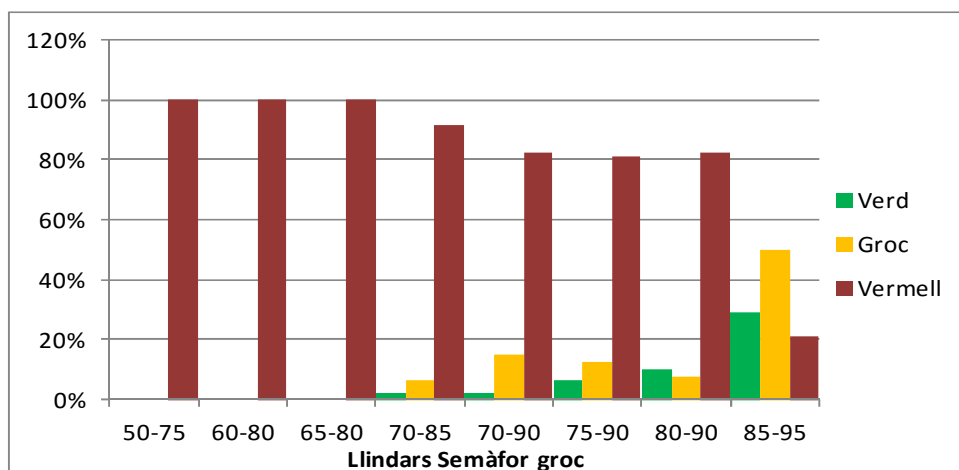


Figura 28: Tendència dels colors en les prediccions correctes en funció dels llindars de groc.

Per tant, es comprova que per a llindars amb un límit inferior de groc al 70% els valors de prediccions correctes tendeixen a ser vermells en un 100%, per tant es dona una percepció de sobre ocupació, malgrat que s'hauria d'estudiar per altres zones amb una demanda de Àrea Blava inferior, ja que se sap que l'ocupació en Hospital Clínic tendeix a ser bastant elevada.

D'aquí es pot concloure que en la fiabilitat del model existeixen dos punts clau:

- Els valors límit del llindar semafòric groc: a mesura que aquests augmenten i s'apropen a ocupacions elevades, la fiabilitat del model baixa. Per contrapartida els llindars amb fiabilitats més elevades, a priori, poden arribar a donar una sobre ocupació dels trams que pot no ser real.
- L'amplada de l'interval de groc: els intervals de groc amb amplades més grans tenen errors de dos graus de salt més petits que la resta. És el cas dels dos últims intervals que només disposen del 10% d'amplada de groc.

7.2 PROMOCIÓ DEL TRANSPORT COL·LECTIU

Com s'ha vist a l'apartat anterior, la definició dels llindars semafòrics pot fer variar la percepció de l'usuari sobre quina serà l'ocupació dels trams de l'Àrea Blava a la zona de destí.

Degut a que el model predictiu SIU dona informació sobre l'estat de l'estacionament en calçada de forma predictiva, pot arribar a tenir influència en la presa de decisió respecte el mode de transport que l'usuari utilitzarà en el seu viatge.

En aquest sentit, una estratègia per afavorir l'ús del transport col·lectiu envers el privat, i així promoure medis de transport més sostenibles, podria ser la de donar una percepció de sobre ocupació dels trams. D'aquesta forma es condiciona a l'usuari, ja que la informació que rep li indica que probablement el temps dedicat al seu viatge incrementarà força pel fet de buscar aparcament en calçada. Aquesta dada pot arribar a dissuadir a l'usuari de realitzar el viatge amb el seu vehicle i optar per altres medis de transport com el col·lectiu o medis de transport sostenibles com la bicicleta.

És a dir, si s'utilitzen llindars de groc amb límits en valors més petits, analitzant la *Figura28*, es pot veure que els colors de les prediccions correctes són vermells gairebé en la seva majoria.

Es conclou, per tant, que si es volen dur a terme estratègies de mobilitat sostenible en la ciutat, una molt bona opció seria utilitzar sistemes de predicció com el SIU amb llindars de semaforització de color groc baixos, per així condicionar la decisió de l'usuari i promoure els medis de transport més sostenibles, com el col·lectiu.

La implementació d'aquesta eina amb els llindars especificats donaria pas a la reducció del transit d'agitació a la ciutat, així com a la reducció dels nivells de contaminació que es donen degut a la contaminació que emeten els vehicles. Per tant, sembla interessant estudiar la seva implementació a la ciutat.

7.3 RESPOSTA DE L'USUARI

Per últim, s'estudia com afecta la resposta del model a l'usuari en el moment en que coneix la informació real de la situació al seu destí

Des del punt de vista de l'usuari existiran respostes positives o negatives en funció de la relació entre la predicció de model i la situació real. Les reaccions del usuaris es descriuen seguidament en funció dels nivells d'encerts descrits anteriorment:

Real - Model	Tipus predicció	Resposta Usuari
	Predicció correcta	✓ ✓
	Predicció pessimista	✓
	Predicció optimista	X
	Prediccions Molt Optimista i Molt Pessimista	X X

Figura 29: Resposta de l'usuari a la relació entre l'ocupació real i la del model

- Predicció correcta: una predicció correcta tindrà l'efecte o la resposta més positiva per part de l'usuari. Aquest ha fet ús d'un sistema predictiu d'informació

i un cop arriba al seu destí (en cas que decideix anar-hi), comprova que la situació real és igual a la descrita pel model. D'aquesta manera, el pròxim cop que realitzi un viatge, probablement tornarà a fer ús del model predictiu.

- **Predicció pessimista:** la predicció dona una ocupació més gran a la que es dona a la realitat, és a dir, en cas que l'usuari agafi el seu vehicle quan arriba al destí és troba que la situació és millor que el que indicava al model. Per tant, per una banda sap que el model s'ha equivocat, però malgrat aquest fet, queda satisfet ja que ha pogut estacionar sense problemes.
- **Predicció optimista:** el model informa a l'usuari que la situació al destí és bona (verd) o parcialment bona (groc), però quan aquest arriba l'ocupació de l'estacionament és més elevada del que s'esperava. Per tant, aquest al veure que la seva expectativa d'estacionament no és la real, queda frustrat.
- **Predicció molt pessimista i molt optimista:** una predicció d'aquest tipus, tindrà la pitjor resposta possible per part de l'usuari. En el cas que el model prediu verd, l'usuari agafa el seu vehicle i quan arriba el destí no troba cap lloc d'estacionament o li costa molt trobar-ne, per tant la seva reacció esdevindrà molt negativa ja que la informació és totalment equivocada i aquest fet comporta conseqüències molt negatives per ell que ara invertirà molt més temps en el seu viatge. L'altre cas en que el model dona un tram en color vermell, l'usuari segurament prendrà la decisió d'utilitzar altres modes de transport alternatius, però s'entén que si ha consultat el model es degut a que la seva primera intenció era agafar el cotxe, imaginem que per comoditat. Per tant, un cop arriba al seu destí, mitjançant el transport col·lectiu, i s'adona que la situació no era la que el model li predeia, aquest es frustrarà ja que ha hagut de recórrer a una alternativa de transport que no era la desitjada en un primer moment. Finalment, en ambdós casos la resposta de l'usuari és de frustració i Molèstia i probablement el pròxim cop que realitzi un viatge no consultarà el sistema de predicció d'estacionament i la seva decisió es basarà en la pròpia experiència.

Un cop analitzades les reaccions dels usuaris envers la relació entre la predicció del model i la situació real, s'apliquen aquests criteris i s'obtenen els següents resultats:

Semàfor (groc)	Molt Satisfet	Satisfet	Frustrat	Molt Frustrat	Resposta Positiva	Resposta Negativa
50-75	91%	5%	3%	1%	96%	4%
60-80	88%	6%	5%	1%	94%	6%
65-80	84%	9%	5%	2%	93%	7%
70-85	78%	15%	6%	2%	93%	7%
70-90	65%	25%	9%	1%	90%	10%
75-90	61%	26%	11%	2%	88%	12%
80-90	61%	28%	11%	1%	89%	11%
85-95	43%	46%	5%	7%	89%	11%

Figura 30: Resposta de l'usuari segons casos de llindars semafòrics.

Es clar que a mesura que s'arrisca en la predicció, i els límits del llindar de groc són més petits, i tenen valors més propers del 80 i 90% de l'ocupació, el nivell de respostes negatives augmenta.

Per una altra banda, el fet de que alguns casos tinguin el 10, el 15 o el 20% d'ample de llindar de groc, també influeix el resultat. En els casos 4 (70-85) i 5 (70-90) queda reflectit com, en valors absoluts, el resultat de resposta positiva només varia en un 3%. Aquest fet es deu a que el cas 5 té un interval més gran de groc i això fa que els errors d'un grau, *Figura 26*, siguin molt més elevats encara que el grau de satisfacció no sigui el mateix.

7.4 ANÀLISIS DE RESULTATS

Un cop analitzades totes les afectacions que les variacions en els llindars semafòrics comporten a l'usuari, a la fiabilitat i a la possible promoció del transport públic, s'arriba a les següents conclusions:

- Respecte a la fiabilitat dels diferents casos, a mesura que augmenten els valors límits dels intervals, més baixa és la fiabilitat del resultat. Es considera que per sota del 65% de prediccions correctes no és vàlid el llindar.
- La resposta de l'usuari es considerarà positiva si el global de respostes positives és superior al 90%, sense diferenciar el nivell de satisfacció.
- Amb l'objectiu de no mostrar tots els resultats correctes com vermells, es discriminaran tots aquells casos en que el 100% dels correctes eren d'aquest color.

	FIABILITAT	USUARI	SOBRE OCUPACIÓ
Cas 1 (50-75%)	✓	✓	✗
Cas 2 (60-80%)	✓	✓	✗
Cas 3 (65-80%)	✓	✓	✗
Cas 4 (70-85%)	✓	✓	✓
Cas 5 (70-90%)	✓	✓	✓
Cas 6 (75-90%)	✗	✗	✓
Cas 7 (80-90%)	✗	✗	✓
Cas 3 (85-95%)	✗	✗	✓

Figura 31: Anàlisi de lindars semafòrics segons criteris.

Per tant, tenint en compte aquests criteris, els lindars semafòrics que millor s'adapten a les zones descrites són el cas 4 on el llindar groc es de 70-85% i el cas 5 amb un llindar de groc de 70-90%.

Finalment, el punt clau per escollir un d'aquests dos lindars semafòrics, es basa en l'estratègia que es vulgui dur a terme, ja que per intervals amb lindars de semaforització de color groc baixos, es possible arribar a condicionar la decisió de l'usuari i promoure els medis de transport més sostenibles.

8. CONCLUSIONS

La mobilitat en zones urbanes s'ha convertit en un problema cada cop més important en l'actualitat. Les congestions de vehicles que es troben en les grans zones urbanes tenen efectes negatius en el medi ambient i la societat. Així doncs, es clara la necessitat d'una intervenció en les polítiques mobilitat i regulació de l'estacionament, amb l'objectiu de regular aquest fenomen creixent.

En el present estudi, s'han analitzat les diferents solucions innovadores, envers les noves tecnologies TIC, que s'estan implementant a les grans ciutats del món que milloren la gestió de l'estacionament, per després analitzar en profunditat un model d'informació predictiu d'estacionament basat en l'anàlisi del *big data*, que es vol implementar a la ciutat de Barcelona.

Les conclusions de l'estudi són les següents:

1. En un primer moment, sembla que les eines que fins aleshores s'han implementat en relació a la regulació de l'aparcament en calçada, tenen un marge d'actuació en l'actualitat força reduït. Així doncs, les solucions per mitigar les externalitats del fenomen del trànsit d'agitació i l'ús intensiu del transport privat en les ciutats, passen per desenvolupar solucions innovadores que mitjançant sistemes d'informació als usuaris sobre l'estat d'ocupació de les places d'estacionament, condicionin la decisió del mode de transport dels ciutadans cap a solucions més sostenibles.
2. Els sistemes d'informació que fins ara s'han desenvolupat en els últims anys s'agrupen en dos grans blocs. Els sistemes d'informació a temps real i els sistemes predictius d'ocupació. Els primers es basen en el *crowdsourcing* o col·laboració oberta, aquests mitjançant algunes característiques del propi dispositiu mòbil, identifiquen places lliures d'estacionament i aquesta informació es compartida en una plataforma on tots els usuaris poden accedir. D'aquesta manera els conductors poden interaccionar i veure a temps real la disponibilitat de places lliures d'estacionament.
Els sistemes predictius, en contrapartida, analitzen un gran volum de dades històriques sobre el comportament i les tendències de l'estacionament per posteriorment crear un algoritme que dona informació sobre l'estat futur de les places.

3. Tenint en compte la voluntat de les ciutats de conduir la mobilitat cap a modes de transport col·lectius i sostenibles, sembla que els sistemes predictius s’alineen de forma més adequada amb aquesta estratègia. Els sistemes de predicció poden arribar a condicionar la decisió del conductor en funció de l’ocupació donada i incentivar-lo a l’ús de medis de transport públics. En contra, els models de transport a temps real, promocionen l’ús del vehicle privat facilitant l’estacionament dels vehicles. Per tant el model d’informació implementat a cada ciutat, estarà estretament relacionat amb l’estratègia política de mobilitat que es vol dur a terme.
4. De l’estudi del sistema d’informació predictiu d’ocupació SIU en Barcelona, sorgeix la necessitat de millorar una part dels inputs referents a les dades d’ingressos dels parquímetres. En aquest capítol es focalitza una gran part de l’esforç, del present treball, en elaborar un model que assigna relacions entre parquímetres i trams. Finalment, les diferents proves realitzades a les zones de Plaça Francesc Macià, Hospital Clínic i Ronda Sant Pere han donat resultats molt optimistes envers la fiabilitat del model d’assignació i conseqüentment han millorat els outputs del model global de predicció, ja que d’aquesta manera els inputs s’adapten millor al moviment i dinàmica constant de la ciutat.
5. Els llindars de semaforització del model predictiu SIU estan intrínsecament relacionats amb tres punts claus del sistema d’informació. La fiabilitat del model, la resposta de l’usuari i la promoció de transport públic. El primer aspecte, la fiabilitat disminuirà a mesura que els límits del llindar semafòric groc augmenten. Per contrapartida, quan aquests són molt baixos i la fiabilitat és potencialment elevada, dels resultats registrats com correctes, només s’identifiquen els vermells (ocupats), per tant es pot estar donant una sobreocupació de la zona. Aquesta estratègia pot arribar a ser positiva si la política de la ciutat va en línia amb incentivar els medis de transport col·lectius. Finalment, per tots els llindars semafòrics grocs amb límits inferiors més petits del 75%, la satisfacció es troba al voltant del 90%.
6. En conclusió, els llindars semafòrics que millor s’adapten a les zones descrites, són els que tenen un llindar de color groc de 70-85% i 70-90%. La decisió final sobre l’opció més adequada dependrà de la política reguladora de mobilitat i estacionament.

Com a conclusió final, la implementació de sistemes predictius d’aparcament en ciutats on la congestió de les vies urbanes s’ha convertit en un problema important, és una eina que pot arribar a donar resposta als inconvenients mediambientals, socials i econòmics creats per l’ús del vehicle privat i la gestió de l’estacionament.

9. REFERÈNCIES

- [1] Urbitran/Parsons Brinckerhoff, Eng-Wong, Taub & Associates, Howard/Stein-Hudson Associates, Inc., HOK Planning, Canal Area Transportation Study Track II Parking Study: Summary of Typical User Characteristics. New York Metropolitan Transportation Council. New York, NY, 2008.
- [2] R. Arnott and E. Inci. An integrated model of downtown parking and traffic congestion. *Journal of Urban Economics*, 60:418{442, November 2006.
- [3] J. V. Derbeken. Fatal stabbing over parking. http://articles.sfgate.com/2006-09-19/bay-area/17312921_1_parking-space-parking-spot-stabbed.
- [4] <http://www.elperiodico.cat/ca/noticias/transit-i-transportes/transit-barcelona-cotxes-busca-aparcament-2282123>
- [5] Liu, Q., Lu, H., Zou, B., & Li, Q. Design and development of parking guidance information systems based on Web and GIS technology. In *Proceedings of the 6th international conference on ITS telecommunications*, Chengdu, China, 2006.
- [6] Caicedo, F., Blazquez, C., Miranda, P. (2012). Prediction of parking space availability in real time. *Expert Systems with Applications*,
- [7] Caicedo, F., Robuste, F., Lopez-Pita, A. (2006). Parking management and modeling of car park patron behavior in underground facilities. *Transportation Research Record*, No. 1956.
- [8] Giuffrè, T., Siniscalchi, M.S., Tesoriere, G. (2012). A Novel Architecture of Parking Management for Smart Cities, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53.
- [9] Castiglione J., Bradley M., and Gliebe J. (2014) Activity-Based Travel Demand Models: A Primer. The Strategic Highway Research Program of the Transportation Research Board.
- [10] Ajuntament de Barcelona. (2015). Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona 2013-2018, (PMU).
- [11] <http://opendata.bcn.cat/opendata/es>
- [12] <http://www.areaverda.cat/larea-de-barcelona/historia/>
- [13] <http://tribunes.racc.cat/ca/gestio-aparcament>
- [14] Shoup, Donald. (2007). *Cruising for Parking*. Department of Urban Planning, University of California, Los Angeles, Los Angeles, USA.
- [15] Shoup, D. (2005). *The high cost of free parking*, American Planning Association, Chicago.

- [16] Federal Highway Administration. (2007). Advanced Parking Management Systems: A Cross-Cutting Study. U.S. Department of Transportation, Washington.
- [17] Orski, K. (2003). Best space scenario. *Traffic Technol. Int.* 2003, 54–56
Zsolt Péter Sándor, Csaba Csiszár. (2014). Role of Integrated Parking Information System in Traffic Management. *RPeriodica Polytechnica Civil Engineering*.
- [18] Hirahara, K., Ikeuchi, K.. (2003). Detection of street-parking vehicles from panoramic street image, *Proceedings Intelligent Transportation Systems*, IEEE.
- [19] Ando, R., Mimura, Y. (2010). A study to develop an information providing System on travel time. *Int. J. Intell. Transp.*
- [20] Basu, P., Little, T.D.C. (2004). Wireless Ad Hoc Discovery of Parking Meters, Multimedia Communications Laboratory (MCL) Technical Report.
- [21] Federal Highway Administration. (2007). Advanced Parking Management Systems: A Cross-Cutting Study. U.S. Department of Transportation, Washington.
- [22] <http://www.gizmag.com/anagog-parking-spot-finder>
- [23] <http://anagog.com>
- [24] <http://www.hi-park.co/our-technology/>
- [25] Ted Burnham. Crowdsourced Street Parking: Hi-Park. <http://postscapes.com/crowdsourced-street-parking-hi-park>
- [26] Parknav Releases App to Relieve Parking Stress | NBC Chicago <http://www.nbcchicago.com/blogs/inc-well/Parknav-Presents-an-App-to-Relieve->
- [27] Vlahogianni, Eleni I. Kepaptsoglou, Konstantinos. Tsetsos, Vassileios. Karlaftis, Matthew G. (2014). Exploiting New Sensor Technologies for Real-Time Parking Prediction in Urban Areas. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*.
- [28] R. Arnott and E. Inci. (2006). An integrated model of downtown parking and traffic congestion. *Journal of Urban Economics*.
- [29] H. Lu, J. Yang, Z. Liu, N. D. Lane, T. Choudhury, and A. T. Campbell. (2010). The jigsaw continuous sensing engine for mobile phone applications. In *ACM Sensys*.

- [30] S. Gaonkar, J. Li, R. R. Choudhury, L. (2008). Cox, and A. Schmidt. Micro-blog: sharing and querying content through mobile phones and social participation. In ACM MobiSys.
- [31] J. Yang, L. A. Adamic, and M. S. Ackerman. (2008). Crowdsourcing and knowledge sharing: strategic user behaviour on tasks. In ACM EC.